

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



CONSTRUCCIÓN DE UN SILO DE CONCRETO ARMADO
POR EL SISTEMA DE ENCOFRADO DESLIZANTE

Tesis para optar al título de Ingeniero Civil

Presentado por: JUAN ALBERTO VILLANUEVA BELLO

Lima-Perú
2007

Resumen

Esta tesis consiste en explicar el procedimiento constructivo de un silo de concreto armado de 40 m. de altura el cual consta de dos fustes concéntricos de 14 m. y 20 m. de diámetro, terminando ambos en una losa de cierre de 0.20 m. de espesor. Los fustes se apoyan sobre una tolva troncocónica de 19.90 m. de altura que a su vez descansa sobre un anillo de cimentación de diámetros exterior e interior 16m. y 6 m. respectivamente y de 3 m. de altura.

Debido a que no se trata de una construcción convencional, para cada etapa de la construcción del silo se dan recomendaciones y procedimientos constructivos encontrados en la bibliografía y que han funcionado en otras construcciones, de modo que bien pueden ser aplicados en esta obra en particular. Para el vaciado del anillo de cimentación, debido que se trata de un concreto masivo, se dan pautas para reducir la fisuración por el calor de hidratación reduciendo la diferencia en las temperaturas al interior y al exterior del núcleo, no se da una única solución ya que depende de las condiciones del sitio de trabajo. En la ejecución de la tolva de descarga se menciona el procedimiento a seguir cuando se trata de vaciados con pendiente pronunciada y en altura. Para la ejecución de los fustes, debido a que se trata de secciones constantes en planta y de gran altura se opta por la tecnología de los encofrados deslizantes por lo que se describen sus componentes, el montaje del encofrado, la ejecución de los fustes y su posterior desmontaje. Una dificultad adicional en la ejecución del fuste estriba en que se inician en alturas distintas: el silo exterior en la cota +7. 15 m. y el interior en la cota + 10.95 m. por lo que se debe decidir si se deslizarán en paralelo o en forma independiente justificando la elección. Finalmente en la losa de cierre, la dificultad radica en que se encuentra a una cota de +38.80 m. y apoyándose la losa directamente sobre vigas metálicas por lo que se describe la ejecución del encofrado el cual se realizará sin el uso de andamios.

Adicionalmente y, dado que la construcción en nuestro país es demasiado empírica, se describen las formas correctas de realizar el vaciado de concreto, el vibrado, el curado y desencofrado. De igual manera complementando todo lo anterior se incluyen planos del encofrado deslizante, de la plataforma de trabajo, de la losa de cierre y un cronograma de Gantt indicando la duración de toda la obra.

Índice	Página
1. Introducción	1
1.1 Memoria descriptiva de la obra	3
2. Proceso constructivo de la cimentación y del cono de descarga	10
3. Proceso Constructivo de los fustes (silos) usando el método del encofrado deslizante	21
3.1 Partes del encofrado deslizante	21
3.2 Montaje del encofrado deslizante	36
3.3 Vaciado de concreto y colocación del fierro de refuerzo	44
3.4 Desmontaje del encofrado deslizante	56
4. Diseño y cálculo	62
5. Seguridad y Prevención	77
6. Programación de obra y plazo	82

1) Introducción

El uso de encofrados deslizantes para construcciones de concreto armado se inicia en nuestro país en el año 1954 (Gallegos, 1992), siendo utilizado mayormente en torres, tanques elevados, silos y estructuras industriales. Se diferencia de un sistema convencional de encofrados, en que requiere de un sólo molde para dar forma a toda la estructura, la cual se desplaza verticalmente, y se trabaja sobre una plataforma que se eleva junto con el encofrado, lo que asegura un mayor rendimiento del personal pues se está sobre una plataforma segura y cómoda para el llenado y colocación de la armadura.

Si bien hay un mayor gasto inicial debido al alto costo que representa la fabricación del encofrado móvil en relación a uno fijo, son muchas las ventajas que se obtienen de emplear este sistema y que justifican esta inversión. Entre las ventajas que encontramos, está la realización de numerosas operaciones, las cuales se ejecutan simultáneamente e incluyen colocación de armadura, vaciado del concreto, acabado de paredes y curado. Asimismo hay una supresión importante de tiempos muertos lo que conlleva a una gran velocidad de ejecución y reducción en los costos indirectos que dependen del tiempo. El llenar continuamente el molde en capas de 20 a 30 cm y el hacer un acabado exterior cuando el muro está iniciando su proceso de fragua, también asegura un mayor monolitismo de la estructura lo que le da una calidad superior. Sin embargo, como todo sistema constructivo, el uso de encofrados deslizantes también tiene sus desventajas. En primer lugar hay restricciones arquitectónicas importantes, lo que trae estructuras monótonas y gran complejidad para el apoyo de los forjados. Asimismo, dado que toda interrupción en el izaje puede provocar dificultades técnicas, es imprescindible tener generadores de energía y equipos de repuesto en caso de avería, así como amplio espacio para almacenar desde un inicio todo el material a usar. También es esencial contar con mano de obra calificada, no muy común en nuestro medio y definitivamente rehuir los problemas laborales por el riesgo de paralización de obra.

En general para considerar el uso de encofrados deslizantes, se requiere que las construcciones sean estructuras altas ya que hacen costoso el uso de encofrados fijos y compleja su erección. De igual forma se requiere que la geometría en planta sea uniforme de modo que el encofrado no encuentre obstrucciones durante su deslizamiento hacia arriba. "Entre las obras que se construyen con formas móviles se incluyen: silos, depósitos y cisternas, torres para elevadores y máquinas, torres industriales, depósitos elevados de agua, muros de edificaciones industriales,

chimeneas, pilas y estribos de puentes, muros de contención, presas, cajones de cimentación, chimeneas de equilibrio, obras de edificación, canales o túneles, pozos de minas o de acceso, torres de elevación, faros, torres panorámicas, etc.” (Dinescu et al, 1970). Si bien el uso de encofrados deslizantes no ha sido tan difundido en nuestro país, como sí sucede en otras latitudes, es innegable que cuando se alcance el verdadero desarrollo, es decir cuando se construyan este tipo de obras en forma masiva, los encofrados deslizantes jugarán un papel importante.

Dado que esta tesis es sobre la construcción de un silo de concreto armado por el sistema de encofrados deslizantes, se empezará por mencionar que los silos son depósitos para almacenar y conservar materiales granulares o pulverulentos tales como trigo, maíz, cebada, arroz, azúcar, cemento, etc. Constan de paredes altas y mantienen una sección constante a lo largo de toda su altura, de modo que son llenados por la parte superior y descargados por la inferior. Para ello, los fondos de los silos son inclinados, actuando como tolvas, aunque también pueden usarse elementos mecánicos para la descarga con lo cual se pueden tener pendientes reducidas.

Si bien los fustes de los silos se hará por el sistema de los encofrados deslizantes, habrá otros elementos que requieran el uso de encofrados convencionales, tales como la tolva de descarga o la losa de cierre. “Cualquiera sea el caso, el encofrado de las estructuras de concreto representan una parte muy importante de la construcción, tanto por los servicios que proporcionan, como por su costo (del 25% al 40% del costo de la estructura), pudiendo incluso sobrepasar el costo del concreto o del acero. A pesar de ello, es muy común en nuestro medio que la madera se emplee no con el criterio de herramienta sino con el concepto de material, es decir que suele tomarse cualquier cantidad a voluntad y cortarse sólo a criterio del operario sin el debido control de quienes tienen la dirección de la obra” (Castillo, 1990). Es por ello que a lo largo de esta tesis se pondrá énfasis para la selección de escuadrías de madera, en que éstas tengan el mayor número de reutilizaciones posibles, el no cortar las maderas innecesariamente y el hacer uso de prefabricados como forma de reducir tiempos de montaje.

Memoria Descriptiva de la Obra

1. Generalidades

La obra consta de dos silos concéntricos de concreto armado destinados al almacenamiento de cemento: uno exterior de 20 m. de diámetro, con la pared de 35 cm. de espesor, y otro interior de 14 m. de diámetro y 25 cm de espesor, terminando ambos en una losa de cierre de 20 cm. de espesor; la altura de los silos es de 40 m. y tienen una capacidad de 5000 TM. La descarga del cemento es por gravedad, por lo cual los fustes descansan sobre una tolva troncocónica que a su vez descansa sobre una pared cilíndrica de 0.85 m de espesor. Toda la estructura se apoya sobre un anillo de cimentación de concreto armado de 3 m. de altura cuya geometría en planta consiste de circunferencias de radios exterior e interior 16 m. y 6 m. respectivamente.

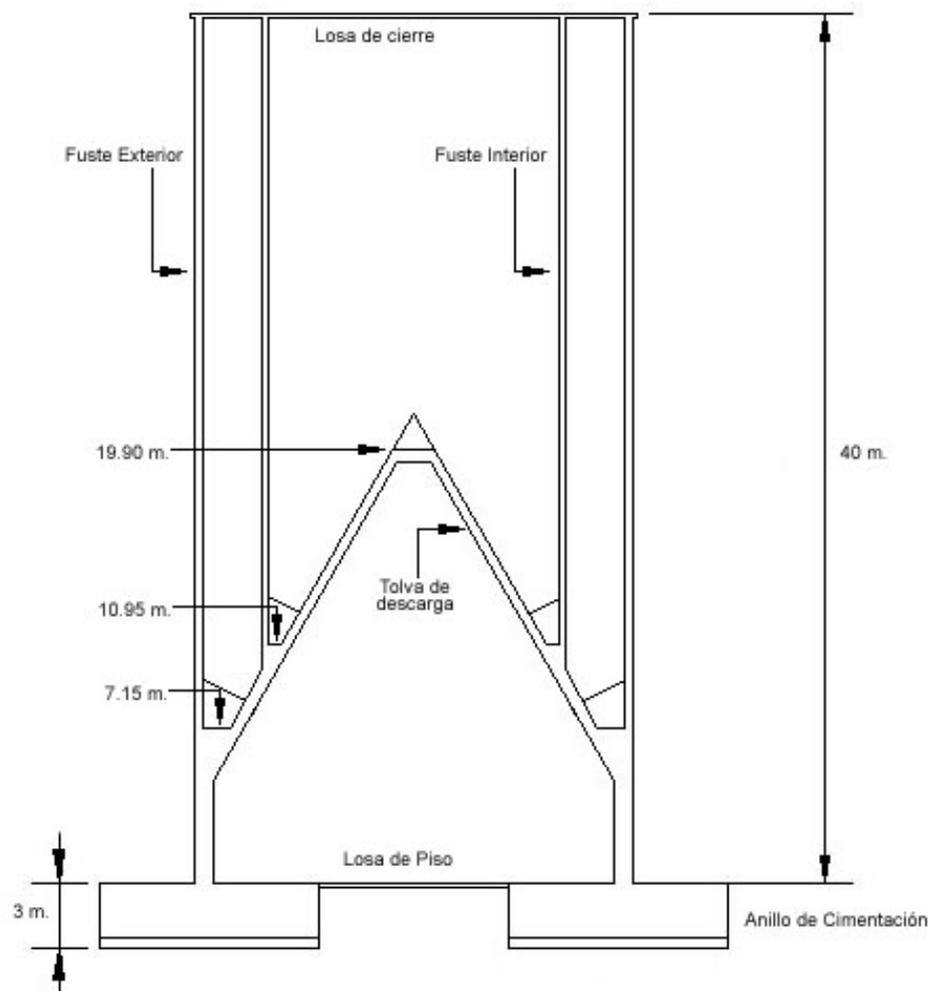


Figura 1.1 Silo de Concreto Armado

2. Cimentación

El anillo de cimentación consiste de una falsa zapata de concreto ciclópeo sobre la cual descansará la zapata. Del nivel -3 m. al nivel -2.5 m. el anillo será a base de concreto simple $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ más 20 % de piedra grande y del nivel -2.5 m. al nivel ± 0.00 el concreto será $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ empleando piedra de tamaño máximo 2". En todos los casos el cemento a utilizar será del tipo Puzolánico 1P y cumplirá la norma ASTM C-95.

Durante el vaciado de concreto en la zapata, se dejarán llaves de corte de dimensión igual a un tercio del espesor del elemento con una profundidad mínima de 5 cm. a todo lo largo del mismo. Una vez endurecido éste, se escarificará y limpiará la superficie hasta exponer el agregado grueso.

La excavación se realizará hasta una profundidad mínima de 3 m.; en caso las paredes del talud no sean verticales, los espacios laterales a las estructuras definitivas excavadas y no ocupadas por ellas, serán rellenadas hasta los niveles pertinentes con material granular colocado en capas de 30 cm. de espesor, regadas y compactadas hasta obtener una densidad del 95 % de la máxima obtenida con el ensayo Proctor Modificado.

El acero de refuerzo será acero grado 60 y cumplirá con la norma ASTM A615. Éste consistirá de emparrillados de barras circunferenciales y radiales espaciadas 20 cm. en ambas caras de la zapata. Las barras de la armadura inferior serán de $1 \frac{3}{8}$ " de diámetro con las barras circunferenciales en doble capa mientras que la armadura superior serán barras de $\frac{5}{8}$ " de diámetro. Para efectos de colocación de las barras radiales, el radio 5 m. será la línea en la que se mida el espaciamiento, esto hace un total de 346 barras.

2. Losa de Piso

La losa de piso consiste de un falso piso de 0.20 m. de espesor y de un contrapiso de 3.5 cm inserto dentro del vano del anillo; la losa se ubica en la cota -0.235 m..

El concreto en el falso piso será $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con un tamaño máximo de agregado de $\frac{3}{4}$ ". Éste se ejecutará integralmente con un sardinel de 0.25 m. de ancho,

el cual penetrará en el terreno 0.20 m. en todo el contorno.

En el contrapiso se dejarán juntas de 3 mm. de espesor de acuerdo al detalle o en su defecto podrán ser recortadas 12 horas después de colocado el concreto; posteriormente las juntas deberán rellenarse con plomo.

El acero de refuerzo en el falso piso será una doble malla con barras de 3/8 " de diámetro espaciados 30 cm..

3. Cono de descarga

El cono de descarga consiste de una tolva troncocónica de concreto armado (diámetro superior, 2.9 m.; diámetro inferior, 9.5 m.; altura, 12.75 m.) la cual descansa sobre una pared cilíndrica de 0.85 m. de espesor. El espesor de la superficie inclinada de la tolva es 0.60 m. desde el nivel +7.15 m. hasta el nivel +10.95 m. y de 0.40 m. hacia adelante, terminando en una losa de cierre de 0.5 m. de espesor. Las cotas +7.15 m. y +10.95 m. marcan el inicio de las paredes de los silos exterior e interior respectivamente por lo que se ejecutarán ménsulas de apoyo solidarias con la tolva para apoyar los fustes sobre un plano horizontal.

Se dejarán aberturas en el cono de descarga cuyas posiciones en planta se leerán de los planos de IBAUHAMBURG, éstos comprenderán:

Vano Tipo 1: Ubicada en la cota ± 0.00 constituye la puerta de ingreso con dimensiones 2.50 m. x 3.00 m..

Vanos Tipo 2: Ubicadas en la pared cilíndrica tienen dimensiones de 0.60 x1.05 m. en la cota +0.50; 0.80 x1.20 m. en la cota +1.00 ; 0.60 x1.05 m. en la cota +1.85; y tres vanos de 0.50 x1.05 m. , 0.60 x1.05 m. y 0.80 x 1.05 m. en la cota +2.73 m..

Vanos tipo 3: Tienen dimensiones de 1.00 m. x 1.15 m. y se ubican sobre la pared inclinada de la tolva de descarga en las cotas +7.54 m., seis vanos, y +12.735 m., cuatro vanos.

Vano tipo 4: Tiene dimensiones de 0.92 m. x 0.92 m. y se ubica sobre la cota +13.98 m. en la superficie inclinada de la tolva de descarga.

Vano Tipo 5: Se ubica en la cota +9.75 m. en el fuste exterior, tiene dimensiones 0.92 m. x 0.92 m..

Vano Tipo 6: Se ubican en la pared cilíndrica sobre las cotas +1.00 m. y +1.50 m. con dimensiones 0.50 m. x 0.50 m.

El concreto en el cono de descarga será $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con un tamaño máximo de agregado de 1". Sobre la tolva se ejecutará un cono de concreto simple $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y se rellenarán los fondos de los silos sobre la tolva hasta el borde inferior de las aberturas con concreto de la misma calidad y con una ligera inclinación hacia éstas.

El acero de refuerzo vertical en la pared cilíndrica serán barras de 1" espaciadas 0.20 m. en ambas caras desde el nivel ± 0.00 hasta el nivel +7.15 m.; las barras ingresarán 2.3 m. en la zapata y se amarrarán con estribos alternados de 3/8 " hasta el nivel +4.25 m.. La armadura horizontal consistirá de barras circunferenciales de 1" de diámetro en ambas caras espaciadas 0.20 m. hasta la cota +3.65 m. y a 0.10 m. hasta la cota +7.15 m.; las barras exteriores se colocarán en doble capa desde el nivel + 3.65 m. hasta el nivel + 4.65 m. y se irán alternando en una y doble capa en lo que resta de la pared. Se colocarán barras circunferenciales de 1/2" desde el nivel +4.65 m. hasta el nivel +7.15 m. espaciadas cada 10 cm. en la cara interior de la tolva, constituyendo la ménsula de soporte, y se amarrarán con las demás barras horizontales con dos estribos de 1/2" espaciadas cada 30 cm.. En la ménsula interior se dejarán barras circunferenciales de 1" amarradas por estribos de $\phi \frac{1}{2}$ " cada 30 cm.

En la tolva de descarga, el refuerzo "vertical" entre fustes se hará a partir de barras de 1" las cuales se espaciarán cada 15 cm en ambas caras y anclarán 0.60 m. en la pared cilíndrica; siendo amarrados con estribos alternados cada 20 cm. hasta la ménsula de soporte del silo interior. Entre el fuste interior y la losa de cierre, el refuerzo "vertical" será con barras de 1/2 " cada 15 cm. alternadas en longitudes de 9, 6 y 3 m. sucesivamente, las mismas que anclarán 40 cm. en la losa de cierre. La armadura horizontal consistirá de barras de 5/8 " en ambas caras desde la cota +7.15 m. hasta la cota +9.75 m. con espaciamientos de 20 cm. y de barras de 1/2 " cada 30 cm. desde la cota +10.95 m. hasta la losa de cierre.

La losa superior de la tolva estará conformada por una malla inferior de barras 5/8 " espaciadas 0.15 m y de una malla superior de barras 1/2 " espaciadas 30 cm, las mismas que se doblarán e ingresarán 40 cm en la pared lateral de la tolva.

Todas las armaduras verticales y horizontales que se vean interrumpidas por la presencia de vanos, se doblarán y reforzarán de acuerdo a los detalles y se dejarán destajes donde sea necesario para la colocación de insertos. En el caso de la puerta de ingreso, tanto las columnas laterales como en el dintel se reforzarán con barras de 1" amarrados por estribos de 3/8" cada 20 cm además de barras diagonales.

4. Paredes de silos

Los silos están constituidos por paredes concéntricas de diámetros 14 m. y 20 m. y espesores de 0.25 m. y 0.35 m. respectivamente. Las paredes descansarán sobre ménsulas en las cotas +7.15 m. y +10.95 m., terminando ambos en una losa de cierre sobre la cota +40.00 m..

El acero de refuerzo vertical consistirá de barras de 1/2" en ambas caras de los cilindros, espaciadas a 30 cm. en el silo exterior y 40 cm. en el silo interior; los empalmes serán por traslapes de 60 cm.. La armadura horizontal consistirá de barras circunferenciales también con empalmes por traslape como se indica a continuación:

Del nivel + 7.15 m. al nivel +22 m.

Barras de 1" en ambos silos espaciadas 0.10 m. hasta la cota +19.00 m. y a 0.15 m. en lo que sigue; los empalmes serán de 1.30 m. y 1.45 m. en las paredes exterior e interior respectivamente.

Del nivel +22 m. al nivel +28 m.

Barras cada 15 cm. de 3/4" y 1" en los silos interior y exterior con empalmes de 1.30 m. y 1.45 m. respectivamente.

Del nivel +28 m. al nivel + 40 m.

Barras de 5/8" y 3/4" en los silos interior y exterior hasta la cota +31.00 m., y de 1/2" y 5/8" hasta la cota +40.00 m.; en ambos casos espaciadas 15 cm.. Los empalmes serán de 0.90 m. y 0.70 m.

El concreto en los fustes será 280 kg/cm² con agregados de tamaño máximo 3/4".

Se dejarán insertos para montacargas en la pared del silo exterior sobre las cotas +3.15 m., +8.65 m., +20.65 m., +32.65 m. y +39.00 m., los cuales consistirán de planchas de $\frac{1}{2}$ " de espesor y 0.30 m. por lado soldadas a ganchos de varillas lisas de $\frac{3}{4}$ " mediante soldadura de ranura.

5. Losa de cierre

La cubierta de los silos consiste de una losa de 0.20 m. de espesor la cual descansa sobre los fustes y sobre vigas de alma llena W 30 x 90. Las vigas se alojarán sobre destajes de 0.35 m. x 0.5 m. en la pared interior y estarán soportadas lateralmente por perfiles W 18 x 35. Se aplicará sobre las vigas una mano de imprimante y dos manos de anticorrosivo con un espesor total mínimo de 100 micrones así como dos manos de acabado. La aplicación del imprimante, como el anticorrosivo y una mano de acabado se hará en taller mientras que la segunda mano de acabado se hará en sitio después de reparado cualquier daño ocurridos durante el transporte y/ o zonas de soldaduras en obra. El espesor total mínimo del acabado será de 90 micrones.

Las uniones entre vigas y soportes se realizará con soldaduras de filete de $\frac{3}{16}$ " mediante el proceso de arco eléctrico. El electrodo a usar será de la serie E-60 y se verificará que todas las superficies a soldar estén libres de costras de laminación, escorias, oxidación suelta, grasa, pintura u otra materia extraña. Toda la soldadura será realizada por soldadores calificados.

Debido a que la altura del destaje es menor que el peralte de la viga donde se aloja, se hará una transición por medio de un perfil W, el cual irá reduciendo su peralte desde 0.75 m. hasta 0.475 m.; los 25 mm restantes, se rellenarán con mortero nivelador en proporción 1: 3. En ambos extremos del perfil en transición, se colocarán cartelas de $\frac{5}{8}$ " y para su fijación en la pared, se anclarán con 2 pernos de 1", así como con una barra de $\frac{3}{4}$ " y 3 m. de longitud el cual pasará a través del alma de la viga en cada destaje a modo de ancla de pared. Se soldarán conectores de corte conformados por ángulos L 2"x2"x $\frac{3}{16}$ "x4" espaciadas 60 cm sobre las caras superiores de las alas en los perfiles W 30x 90.

La losa de cierre será de concreto armado $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con una doble malla de barras $\frac{3}{8}$ " espaciadas a 30 cm. La losa tendrá un volado de 0.20 m en todo su contorno y durante el vaciado de concreto en la losa, los destajes se rellenarán

conjuntamente con la losa quedando embebidas las vigas. Toda la superficie de la losa se recubrirá con una geomembrana de alta densidad de 60 mil y sobre ella irá una protección de concreto de 5 cm de espesor reforzada por una malla de alambres de ¼” espaciadas a 25 cm; la cobertura tendrá una ligera pendiente de 0.5% en sentido radial.

Se dejarán aberturas sobre la losa de cierre reforzados en su contorno y con destajes para la ubicación de insertos.



2) Proceso constructivo de la cimentación y cono de descarga

“La construcción será replanteada con gran precisión desde referencias situadas fuera de la construcción, de manera que no estén influenciadas por la ejecución de los trabajos, estos pueden ser linderos que fijan los límites del terreno, esquinas de las construcciones o muros próximos. Los puntos importantes dados por los planos se marcarán sobre el terreno por medio de estacas provistas de un clavo o bien por medio de jalones o si es el caso sobre los muros perimétricos” (Baud, 1970). Lo primero que se trazará será todo lo relacionado a las excavaciones, para ello sobre el terreno se tenderán dos cordeles perpendiculares entre sí de acuerdo con los ejes y cuya intersección materializará el centro de la zapata. Debido a que el centro es accesible y el terreno llano, se trazará la curva con ayuda de una cinta metálica. Para ello un extremo de la cinta métrica se fijará al clavo ubicado sobre la estaca que define el centro y se alargará a los radios de los círculos que comprenden el anillo de cimentación trazando el anillo con yeso o cal el contorno de la zapata; a fin de facilitar las operaciones y evitar la catenaria se colocará la cinta al ras del suelo. Una vez establecidos los límites de la excavación, comenzará el movimiento de tierras. El volumen de excavación proyectado para la ejecución del anillo de cimentación es de 2447 m^3 incluyendo esponjamiento por lo que se usará un cargador frontal Caterpillar modelo 902 con balde de 0.6 m^3 ; para su selección se ha asumido un ciclo de operación de 0.5 minutos. La capacidad de excavación proyectada es de 400 m^3 por día, requiriéndose alrededor de siete días para realizar la labor. En cuanto a los camiones, el ciclo de operación calculado es de 20 minutos considerando el tiempo para cargar el camión, el transporte de material y su descarga la cual se ha previsto sea en un botadero en las proximidades de la obra; de acuerdo al volumen de excavación se requerirá de dos camiones con capacidad de 14.8 m^3 . La excavación se realizará con el cargador frontal hasta las proximidades del espacio limitado por el trazo continuando luego con barretas para no excavar más allá del trazo y para mantener la verticalidad del paramento de modo que sirva como encofrado, esto en virtud de la capacidad portante del terreno de 3 kg/cm^2 . A medida que se vaya bajando de nivel se tendrá cuidado que la pendiente no sea tan pronunciada de modo que permita salir al cargador al igual que a los volquetes. Para evitar el desmoronamiento del talud se dejarán contrafuertes de tierra hasta pañetear la pared con una lechada de cemento, luego de lo cual serán removidos. La excavación continuará hasta una profundidad de 3 m. por lo que se llevará a cabo la colocación de los puntos de nivelación. Para ello previamente se elegirá un punto de referencia fuera de la construcción al que se le asignará la cota ± 0.00 . Este punto será fijo, sólido y

fácilmente accesible para la lectura de niveles. Para efectuar la nivelación de la excavación se registrará la lectura en una mira colocada sobre el punto ± 0.00 constituyendo éste un plano de comparación o punto de referencia, y se determinará la profundidad de excavación así como otros niveles importantes por diferencia entre las lecturas registradas sobre la mira. La tierra que constituía la rampa será removida con picos y palas y se rellenará en caso de ser necesario los espacios laterales de la excavación con material de relleno granular compactado al 95 % de la máxima densidad seca obtenida con el ensayo Proctor Modificado. El relleno se efectuará en capas de 30 cm. las cuales se regarán y apisonarán con una plancha compactadora, luego de lo cual se realizará un ensayo de cono de arena para verificar su densidad. A continuación se ensamblará la grúa torre, en este caso dado la altura del silo así como la carga máxima, se usará una grúa Liebherr modelo 112 EC-H8 con altura bajo gancho de 68 m., máxima capacidad de carga 8000 kg, radio máximo 55 m. y capacidad de carga para el alcance máximo de 1550 kg.

A continuación se procederá con el vaciado de concreto del anillo de cimentación. Sólo para el concreto de la subzapata se usará en parte concreto premezclado y otra parte con concreto preparado en obra a fin de aprovechar el hormigón del sitio; en el caso de la zapata dado que se necesita almacenar la piedra y arena por separado y también por posibles errores en la mezcla por cansancio de los trabajadores, sobre todo en los fustes donde se trabajan las 24 horas, se ha preferido emplear concreto premezclado. El concreto ciclópeo será con cemento y hormigón en una proporción 1: 10 más 30% de piedra grande y se usarán mezcladoras de 12 p³ de capacidad. "Para la operación de mezclado, el agua deberá ingresar antes que el cemento y agregados y continuará fluyendo hasta que transcurra la cuarta parte del tiempo de mezclado que es un minuto por yarda cúbica (27 p³) más ¼ de minuto por cada yarda adicional" (Bragagnini el at, 1999). Para el concreto premezclado, el cual será con $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ para la sub zapata y 210 kg/cm^2 en la zapata, una vez que el concreto haya llegado a obra se solicitará la guía de remisión donde se consignará la calidad del concreto y tamaño máximo del agregado, el volumen de concreto en el camión concretero y la hora de salida de la planta; no se podrá emplear concreto que tenga más de 1 ½ horas mezclándose desde el momento en que los materiales comenzaron a ingresar al tambor mezclador. Previo a la colocación del concreto, se vaciará en una carretilla una tanda que permita sacar muestras así como determinar el slump, éste deberá ser alrededor de 4"; sin embargo en caso sea mayor lo más probable es que se deba a que el módulo de fineza del agregado ha aumentado no habiendo mayor inconveniente (Pasquel, 1996). Para verificar la resistencia del concreto $f'c$, se llenarán moldes cilíndricos de 6" de diámetro y 12 " de altura; al día siguiente luego de

endurecidos, se retirarán del molde y se curarán sumergiéndolas en pozas de agua con cal, para ser ensayados luego a compresión axial en un laboratorio independiente. Se llevará un registro de cada par de testigos fabricados en el que constará su número correlativo, la fecha de elaboración, la clase de concreto, el lugar específico de uso, la edad al momento de ensayo y la resistencia de cada testigo. Cada clase de concreto será comprobado como mínimo por cinco pruebas, la cual consistirá en romper dos testigos de la misma clase a los 28 días, llamando resultado de la prueba $f'c$ al promedio de los dos valores. El resultado de la prueba será considerado satisfactorio si el promedio de tres resultados consecutivos cualesquiera es igual o mayor que el $f'c$ requerido y cuando ningún resultado individual esté 35 kg/cm² o más por debajo del $f'c$ requerido. Las muestras para ensayos de resistencias en compresión de cada clase de concreto colocado cada día se tomarán:

- No menos de una muestra de ensayo por día
- No menos de una muestra de ensayo por cada cinco camiones

Para el vaciado de concreto de la sub zapata, se humedecerá el terreno de modo que no absorba el agua de la mezcla y durante la operación de llenado se introducirán piedras que pueden ser cantos rodados de la zona cuidando que estén siempre envueltas por el concreto. A continuación se procederá con el vaciado de concreto en la zapata para lo cual se tomarán medidas para controlar las altas temperaturas al interior del núcleo de concreto debido a la hidratación del cemento en contraposición a las temperaturas en su superficie. Esto causa que el concreto más frío al exterior tienda a contraerse pero debido que el concreto está aún caliente en su interior causa una restricción al movimiento produciendo la fisuración del concreto. Algunos autores indican que el máximo diferencial de temperatura para prevenir la fisuración del concreto debe ser de 35 F (19 °C) sin embargo este es un valor arbitrario pues en realidad depende del acero colocado, geometría del elemento y propiedades mecánicas del concreto. Algunas de las medidas para controlar la temperatura pico a niveles seguros se dan en las especificaciones reemplazando parte de cemento por puzolana ya que el calor producido por la puzolana es 50 % del calor producido por la misma cantidad de cemento Portland y limitando las cantidades de cemento pues incrementan el calor de hidratación. Esto último es muy importante ya que para garantizar la durabilidad y resistencia los fabricantes muchas veces entregan un concreto con un $f'c$ mayor al requerido sobrepasándolo incluso a los siete días, sin embargo tiene el inconveniente que incrementa el calor de hidratación y por ende la fisuración. Otras medidas que se pueden tomar para reducir el calor son emplear

agregados con mayor difusividad tales como cuarzo y caliza, enfriar los agregados considerando que representan un 60 a 75 % del concreto, reemplazar hielo por agua en la mezcla de concreto, utilizar tuberías de refrigeración o colocar mantas aislantes sobre la superficie las cuales se irán retirando paulatinamente para que no haya un cambio brusco de temperatura. Otra manera de permitir la liberación de calor es reduciendo la relación volumen / superficie, por lo que el vaciado del anillo de cimentación se realizará en tres etapas tal como se muestra en la siguiente figura. De igual forma en los días próximos al vaciado, se registrarán con termómetro, las temperaturas ambientales así como la temperatura en mezclas de concreto similares a las que se emplearán a fin de determinar las diferencias de temperatura que se producen.

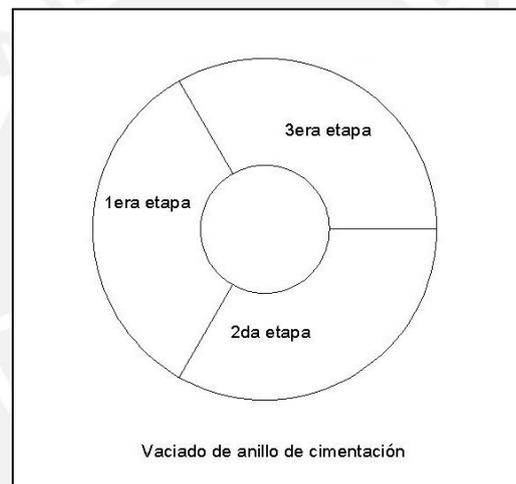


Figura 2.1 Esquema de vaciado de concreto

Los encofrados para concretos masivos difieren de los encofrados en estructuras convencionales en que los vaciados se realizan en capas relativamente bajas con velocidades de llenado R también bajas, aun así el comité 347 del ACI recomienda el uso de fórmulas para encofrados de muros para su diseño mientras que el comité 207 recomienda que, dado que podría haber un incremento en la presión sobre el encofrado debido al empleo de concretos con mayor tiempo para su fragua así como posibles impactos a pesar de usar concretos con bajo slump, considerar para el diseño de encofrados la presión hidrostática más 25 % debido a impactos. Es así que para los encofrados se emplearán conservadoramente tablonés de $1\frac{1}{2}$ " x 8" hasta un altura de 2.50 m. sostenidos por barros de 2" x 4" espaciados 0.80 m. y con tres filas de largueros también de 2" x 4". Los largueros serán sostenidos por puntales de 2" x 4" por lo que para soportar la carga axial que transmite el puntal, se dejará en el concreto ciclópeo nervios de acero que sostengan tablonés de madera para que a su vez

soporten los puntales. Antes de la colocación de los tablonos del encofrado, estos serán taladrados a un diámetro ligeramente mayor a 1 3/8" que es el diámetro de las barras inferiores y con un diámetro mayor a 5/8" en la parte superior con un espaciamiento de 20 cm. de modo que se puedan introducir en los tablonos. Para dejar una junta endientada en los bordes del vaciado tal como indica el plano, se adosará al encofrado una cuña o diente de madera o metal con la forma, dimensiones y profundidad indicada. "Esta superficie posteriormente se escarificará y limpiará hasta exponer el agregado grueso aunque hoy en día existen patentes químicos que se aplican al encofrado y que impiden la fragua del concreto en la superficie por lo que al desencofrar se obtiene una superficie rugosa con el agregado a la vista" (Bragagnini et al, 1999).

A continuación se hará el trazado de la posición del emparrillado de acero con un cordel y ocre y la armadura se colocará sobre tacos de concreto a fin de darles el recubrimiento libre requerido mientras que en el caso del emparrillado superior será importante tener en consideración el metrado correspondiente a los elementos auxiliares para su apoyo pues llegan a tener un significado económico importante, se ha previsto que sean caballetes de fierro corrugado en forma de U invertida espaciadas cada 80 cm los cuales tendrán necesariamente que perderse en la zapata. De igual manera se colocará la armadura vertical el cual consiste en fierros de 1" espaciados cada 20 cm y que constituirán el arranque de las paredes.

Debido a que el concreto que se emplea en vaciados masivos es un concreto seco de bajo slump, el vaciado de concreto en el anillo de cimentación se hará por medio de la grúa torre, empleando un balde de 3 m³ a 6 m³, pues baldes menores descargan tandas de concreto reducidas por vez retrasando el esquema de trabajo y por otro lado baldes de 9 m³ dificultan la consolidación del concreto gastando tiempo y hombres en esparcir las pilas de concreto en lugar de vibrarlo. Una vez que el concreto sea descargado del balde, se introducirán los vibradores sobre las pilas en espaciamientos uniformes con el fin de esparcir el concreto y para aplanar las pilas en capas de 30 cm. a 50 cm. de altura. Cada capa se esparcirá en tiras de 1.8 m. a 3.6 m. de ancho y el lado frontal de cada capa superior se mantendrá 1.2 m. a 1.5 m. detrás del frente de la capa inferior de modo que no se mueva cuando se vibre la tira delante y adyacente a la inferior. Este procedimiento da un efecto de escalonamiento tal como se muestra en la figura.

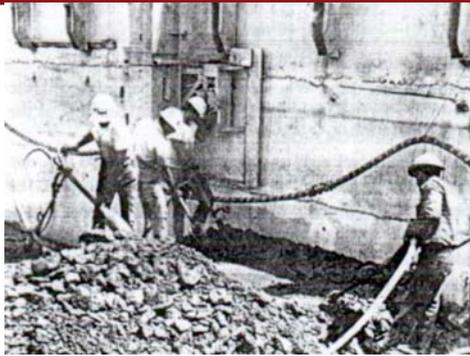


Foto 2.2 Esparcimiento de pilas

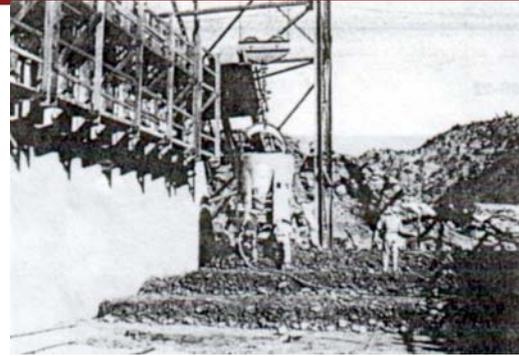


Foto 2.3 Vaciado de concreto en capas escalonadas

Para el vibrado de concreto, éste se realizará introduciendo los vibradores en todo el espesor de cada capa para asegurar la unión entre juntas. Las capas serán horizontales y se emplearán vibradores con dimensiones de cabeza de 75 a 150 mm y de 7000 a 10500 revoluciones por minuto. El tiempo transcurrido para la colocación de dos capas sucesivas será tal que permita una unión monolítica, el vibrador ingresará unos 5 a 10 cm en la capa inferior y la vibración en cada punto se hará hasta que dejen de salir burbujas de aire del concreto con un tiempo de entre 10 a 15 s. Es importante que para la consolidación los trabajadores la realicen conjuntamente en lugar de trabajar por separado y con inserciones de los vibradores al azar. Una vez que se haya llegado al nivel +2.50 m se le dará el acabado final a la superficie rellenando las huellas dejadas así como los agujeros que no se hubieran cerrado al retirar los vibradores. Los trabajadores deberán colocarse unas planchas de triplay bajo las botas a fin de distribuir la presión en una mayor área y no dejar huellas. El curado se iniciará tan rápido el concreto de la superficie haya endurecido lo suficiente para prevenir daños y es mejor que se realice con agua pues provee beneficios de enfriamiento adicionales en climas calurosos el cual se realizará durante 21 días a 28 días por emplearse puzolanas y hasta que ya no hayan beneficios adicionales de enfriamiento. El agua de curado no tendrá una temperatura menor en 11°C (20 F) que la del concreto pues podrían inducirse esfuerzos que generen fisuras en su superficie. Este mismo procedimiento se repetirá en los dos vaciados restantes.

Finalizada la construcción de la zapata, se excavará dentro del vano del anillo de cimentación hasta la cota - 0.235 m. a fin de ejecutar la losa del piso. Este se realizará inmediatamente después del anillo de modo que los andamios torre que se utilizan para la construcción posterior de la tolva estén sobre una superficie nivelada. Una vez terminada la excavación, el terreno será compactado para colocar el acero de refuerzo y el concreto. Se hará la colocación de puntos sobre la armadura y con el espesor requerido, éste consistirá de pedazos de cerámico adheridos a la armadura con mortero y nivelados entre sí con aparato topográfico. Otra práctica para obtener la losa

nivelada y con el espesor requerido es colocando dados de concreto en el mismo instante que se realiza el vaciado. Antes de vaciar el concreto se humedecerá el terreno y se colocará en todo el contorno tiras de tecnopor de 1" y con una altura igual a la de la losa y sardinel con el fin de separar o aislar a la losa de la cimentación de manera que permita movimientos verticales y horizontales entre los bordes minimizando así las grietas causadas por un movimiento restringido. " A continuación se colocará el concreto, éste será consolidado por vibración hasta alcanzar una máxima densidad y lograr una masa uniforme durante 3 a 15 segundos cada 30 a 45 cm, la frecuencia no será menor de 7000 R.P.M" (Bragagnini et al, 1999). Los vibradores penetrarán verticalmente y no se emplearán para mover lateralmente el concreto. Cuando se retiren los vibradores, deberá hacerse lentamente a razón de 8 cm/ s y se suspenderá la vibración cuando comience a aparecer en la superficie una capa de agua o mortero con apariencia brillante. El curado de concreto será por inundación, encerrando el agua en pequeñas represas de tierra o arena para luego inundar la superficie con una capa de agua de espesor superior a 5 cm. pues no es práctico hacerlo con membranas selladoras por la acción abrasiva a la que están expuestas por las suelas de las botas que la desvanecen; la inundación se realizará por lo menos los 10 primeros días después de la colocación del concreto por tratarse de un cemento puzolánico. El vaciado del contrapiso de 3.5 cm de espesor se hará posteriormente. Para la ejecución de las juntas de 3 mm de espesor, se trazará sobre la losa previamente con un cordel y ocre las juntas para proseguir con el aserrado, éste se realizará entre 4 a 12 horas después de vaciado el mortero, sin embargo en caso los bordes de las juntas se rompan, el aserrado será retrasado cuidando en no demorarlo demasiado pues puede dificultar el corte y pueden ocurrir grietas descontroladas. La ejecución de las juntas es importante pues con ellas se crean planos débiles en el concreto induciendo la ubicación de grietas bajo las juntas como resultado de los cambios dimensionales; posteriormente estas juntas serán rellenadas con plomo.

Los encofrados para los muros serán con paneles contrachapados de madera de 19 mm de espesor debido a que al tener dimensiones mayores (2´x4´) reduce costos pues hay un menor trabajo de ensamble con menos juntas que retocar (Hurd, 1979). Los paneles de triplay se cortarán con una cierra de cinta de modo de dividirlos en dos de 0.60 m x 2.40 m. y sobre sus bordes se clavarán los largueros con listones de 2"x6" formando el marco de los paneles. Para los barrotes se usarán listones de 2"x3" los cuales se clavarán a los marcos con 10 clavos de 3 1/2", cinco en el extremo superior y cinco en el inferior. Los paneles se colocarán con la mayor dimensión en la vertical de modo que no haya necesidad de darles curvatura y separados a 90 cm. se

realizarán agujeros en los bordes de los marcos de modo que se puedan atravesar posteriormente los tirantes; esto da una altura inicial de 2.40 m.. El procedimiento a seguir para la construcción de muros empezará colocando la armadura vertical y horizontal a los arranques dejados antes del vaciado del anillo de cimentación, esto se realizará en simultáneo con la colocación de pases e insertos para proseguir con los encofrados. “El montaje de los paneles consistirá en primer lugar en introducir en el concreto de la zapata enrasados con su superficie exterior, unas piezas de madera llamadas listones de clavado que sirven para clavar posteriormente los encofrados del muro. A continuación se colocarán sobre los listones, largueros de solera de 4” x 4” a lo largo de la zapata y clavados a los listones mediante clavos lanceros; los listones estarán separados entre sí 85 cm que es el espesor del muro” (Peurifoy, 1967). Se instalarán transversalmente a los muros y a lo largo de los largueros de la solera los tirantes para luego colocar los paneles prefabricados apoyándolos a lo largo de la zapata sobre los largueros de solera. Para encofrar los muros, se colocarán los paneles a tope, mientras que en el caso de los paneles opuestos se mantendrán en su posición correcta con ayuda de los tirantes que se introducen a través de agujeros hechos en los marcos de los paneles. El encofrado de la cara exterior de la pared cilíndrica se realizará en tres levantamientos sucesivos de 2.40 m. hasta la cota +7.15 m. mientras que en la cara interior se hará en dos levantamientos hasta la cota +4.65 m. ya que allí se inicia la tolva de descarga y también para apoyar los fierros “verticales” de la tolva que anclan en la pared cilíndrica. El vaciado por cada levantamiento se realizará en dos etapas ya que de lo contrario el tiempo que tomaría para el llenado de concreto no alcanzaría en una jornada de trabajo. Para su utilización los encofrados estarán limpios de polvo, mortero y pedazos de madera y se construirán ventanas de limpieza para lo cual se empleará aire comprimido, agua o vapor para garantizar una limpieza perfecta. Asimismo los encofrados serán aceitados con una capa de aceite mineral o agentes químicos que faciliten el desencofrado los cuales se aplicarán con rodillo, brochas, spray, etc., en forma tal que cubra toda la superficie. El vaciado de concreto se realizará por medio de baldes de 0.4 m^3 a 0.8 m^3 las cuales descargarán el concreto dentro del encofrado para lo cual previamente se humedecerá la superficie por lo menos durante las 12 horas antes de la llena para que no absorba agua de la mezcla. Los baldes descargarán el concreto dentro del encofrado en capas sucesivas de 10 a 50 cm. y no formando cerros de un lado para de ahí desparramarlo con los vibradores. A fin de determinar la altura hasta la cual se realizará el vaciado, se introducirán al encofrado clavos señalando la altura de vaciado y para la consolidación del concreto se emplearán vibradores con diámetros de cabeza de 30 a 65 mm. El desencofrado de los muros se hará luego de 12 horas y se curarán con una membrana química desvaneciente, la cual es preferible que deje una

pigmentación de modo que se pueda reconocer las zonas curadas.

Para el encofrado de la tolva se usarán paneles de 19 mm de espesor con largueros de 4"x6" espaciados a una distancia de 40 cm las cuales se apoyarán sobre cimbras circulares de 12"x8" espaciadas a un metro y sostenidas por andamios Acrow. Si bien por cálculo eran suficientes cimbras de 4"x 8", se ha optado por cimbras de 12"x8" a fin de poder recortarlas con las curvaturas requeridas y para garantizar una superficie de apoyo adecuada de los largueros sobre las cimbras, se colocarán cuñas con inclinación de 60°. Para el cálculo de la presión actuante sobre el encofrado inclinado, se ha tomado la recomendación de Hurd de considerar la presión hidrostática sobre la vertical del plano inclinado con una altura aproximada de 2 m. por vaciado, esto hace una presión de 5040 kg/m². Debido que realizar el encofrado de toda la tolva congestionaría el entablado bajo la losa de cierre, éste se realizará en dos etapas: una primera etapa hasta la cota + 10.95 m. que es donde cambia el espesor de la pared inclinada y para permitir el montaje del encofrado del fuste interior y una segunda etapa que incluye el resto de la pared inclinada así como la losa de cierre las cuales se realizarán luego de ejecutar los fustes. El encofrado de la tolva será independiente de la del muro de modo que este último se pueda retirar con anterioridad ya que los tiempos de desencofrado son distintos: mientras que en los muros los paneles se podrán retirar luego de 12 horas, en el caso de la tolva de descarga ésta deberá permanecer encofrada más tiempo y luego reapuntalada de modo de no esforzarla de una manera para la cual no ha sido diseñada y para la cual carece de armadura.

Finalizado el encofrado de la tolva en su primera etapa, se replanteará la posición de los marcos para los vanos por lo que se preparará en obra un plano en planta indicando la ubicación de vanos, sus dimensiones y su tipo luego de lo cual se colocará la armadura horizontal y vertical así como los estribos.

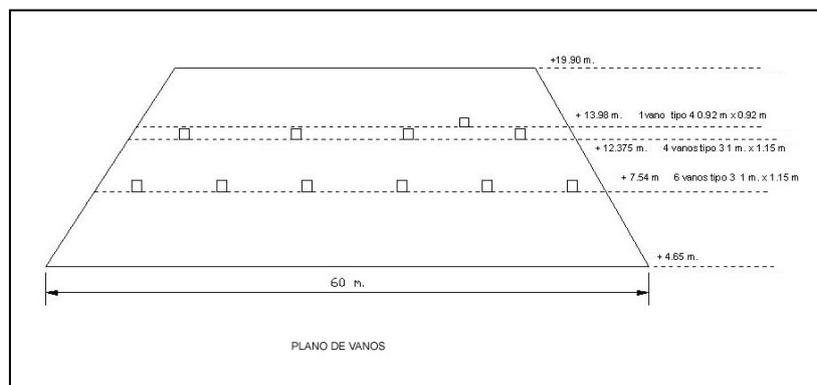


Figura 2.4 Plano de vanos de la tolva de descarga

Para el vaciado de concreto un aspecto que se deberá tomar en cuenta es la inclinación de la tolva de descarga cuya pendiente es de 60° . En ese sentido algunos autores refieren que a partir de 35° es necesario de un encofrado superior (Peurifoy, 1967), otros en cambio establecen la necesidad de encofrados superiores a partir de 45 a 50° (Hurd, 1979). En cualquier de los casos se debe determinar en obra pues depende de la naturaleza del concreto así como del acero de refuerzo que restringe el desplazamiento sin embargo para atenuarlo, se usará un concreto con un slump no mayor de $4''$. En caso sea necesario de encofrados pueden colocarse paneles superiores sujetos ya sea al acero de refuerzo o al encofrado inferior para resistir la presión del concreto; para realizar el vibrado los trabajadores pueden permanecer sobre los encofrados tal como se muestra en la siguiente figura.



Foto 2.5 Vaciado de concreto en superficie inclinada

Los paneles permanecerán en su posición hasta que estén lo suficientemente endurecidos y puedan mantener su forma luego de lo cual se desplazan para la siguiente llenada.

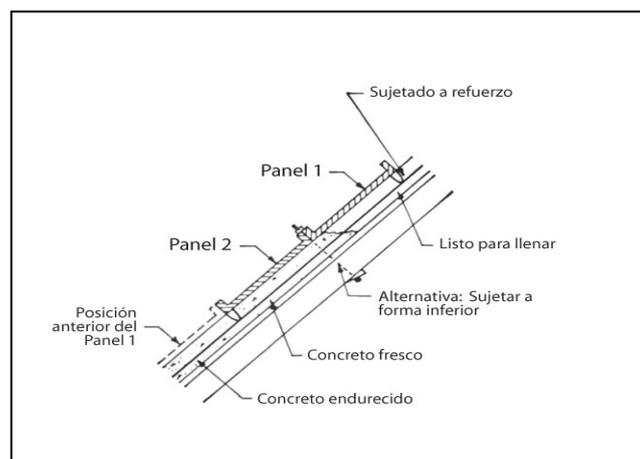


Foto 2.6 Levantamiento de paneles

El inconveniente que presenta esta solución es que en el caso de la tolva tanto

los paneles como largueros tienen una curvatura cuyo radio varía con la altura por lo que otra solución sería emplear una placa de acero la cual se va desplazando a la par con el vaciado. A fin de resistir la presión del concreto y que no se eleve la placa, se colocará sobre esta un contrapeso de concreto y la vibración se realizará con vibrador de inmersión pero sobre el concreto arriba de la placa de acero de modo que no se incremente la presión sobre el encofrado. El vaciado de concreto se hará por paños y en capas sucesivas empezando por la parte inferior de la tolva con un balde de 0.4 m^3 a 0.8 m^3 la cual irá descargando el concreto. Una vez rellenas las primeras capas de concreto se colocará sobre ellas la plancha metálica de 27" de modo que evite que las nuevas tandas de concreto discurran hacia el fondo y una vez rellenas se deslizarán en forma ascendente garantizando el espesor de la tolva. Debido a que el curado con agua no es práctico ya que la pendiente de la tolva discurriría el agua hacia el fondo, también se emplearán membranas selladoras.

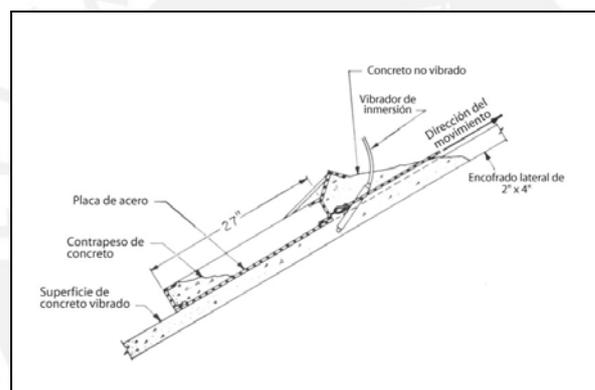


Foto 2.7 Vaciado con plancha deslizante

La siguiente etapa de la tolva de descarga se hará luego de ejecutados los fustes de la misma manera explicada para la primera etapa y con la misma disposición de los encofrados mientras que para la losa de cierre de la tolva se emplearán viguetas de 4" x 6" espaciadas a 60 cm. y sobre éstas irán planchas de triplay de 19 mm. de espesor. El proceso de vaciado, transporte y curado de la segunda etapa de la pared inclinada será igual que para la primera mientras que en el caso de la losa de cierre será igual que en la losa del piso.

3) Proceso constructivo de los fustes usando el método de los ENCOFRADOS DESLIZANTES

1) Partes del encofrado deslizante

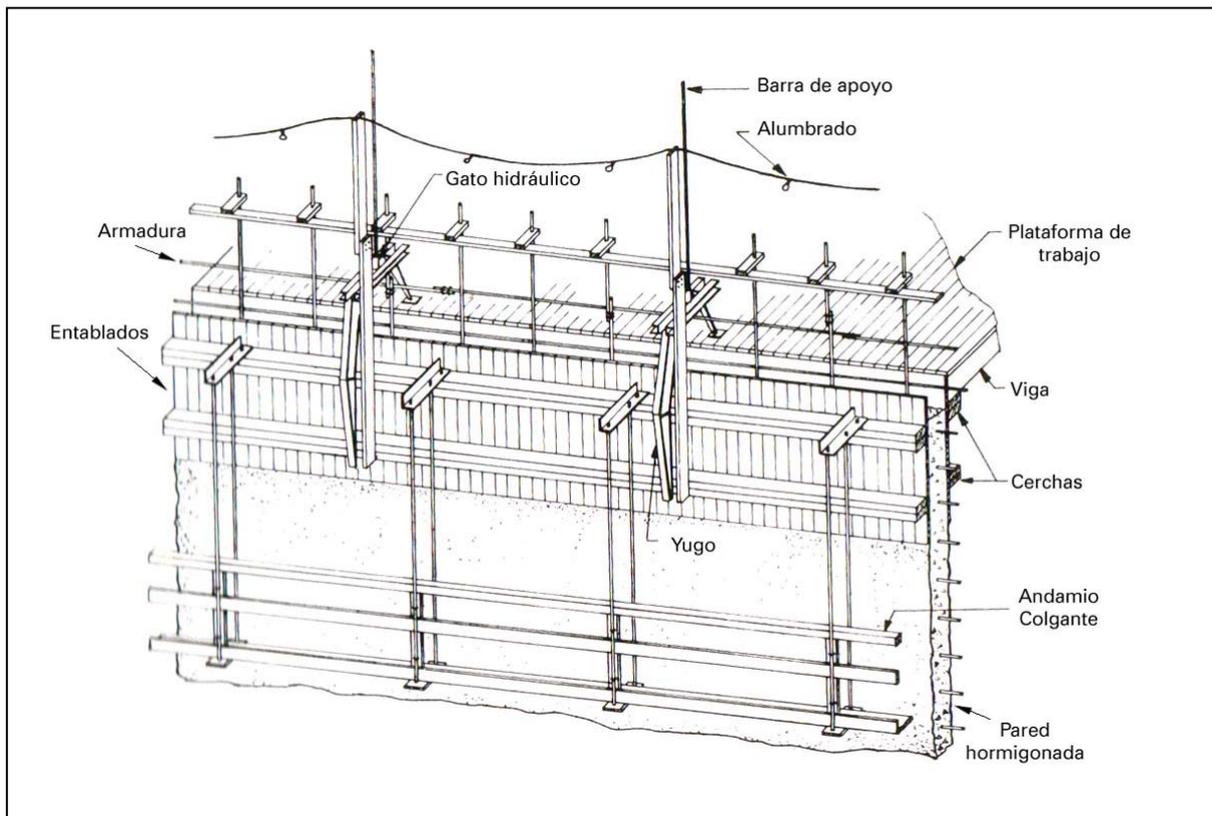


Figura 3.1 Partes del encofrado deslizante (M. K. Hurd, 1979)

Entablados

Son los elementos que le dan forma a la estructura y, dependiendo de la calidad requerida, así como su número de usos, pueden ser tablas de madera cepillada de unos 3/4" a 1" de espesor, tablas en forma de cuña de 3.6 cm en la extremidad superior y 2.8 cm en la inferior o un contrachapado resistente a la humedad. Las tablas de madera deberán estar libres de fisuras, nudos y zonas podridas y tendrán un ancho de entre 8 a 10 cm (3.5" a 4") pudiendo ser su unión machihembrado, con ranuras y lengüetas.

Debido a las variaciones de volumen en las tablas producto de la humedad, se suelen dejar juntas de unos 4 a 5 mm, las cuales deben ser verticales para evitar la rugosidad transversal al momento de elevar el encofrado. Sin embargo, cabe precisar

que el ancho de las aberturas depende del tipo de madera y se estima después de realizar ensayos para obtener así la variación del volumen cuando la madera está húmeda. Posteriormente puede ser rellenado con un material plástico o jabón. Para reducir las variaciones de volumen se riega la madera antes de usar, esto con el fin de saturarla, ya que debido a que estará en continuo contacto con el concreto en estado plástico, reducirá así la succión del agua. De igual forma, a fin de reducir el entumecimiento de la madera, se la sumerge en una preparación de aceite de linaza mezclado con diesel de petróleo (Gallegos, 1992).

Cualquiera sea el encofrado que se use, se le debe dar una ligera inclinación vertical, entre 3 y 10 mm/ m con la intención de reducir la fricción al momento de elevar el encofrado. Esto se puede conseguir de dos maneras: ya sea inclinando las tablas respecto a la vertical al montarlas sobre la cimentación de la obra, o dando a las tablas que forman el encofrado la forma de un cono.

Si bien el aceitar la madera y tenerla lisa, tiene un efecto favorable en reducir la fricción en los primeros metros del izaje, posteriormente es sometida a una abrasión mecánica severa debido a la rugosidad producida por la adherencia entre el concreto y el encofrado. En ese sentido los encofrados de madera son más permeables que los encofrados metálicos pues permiten que parte de la lechada de cemento escape del encofrado, lo que aumenta la rugosidad entre el encofrado y el concreto. Esto a su vez reduce la presión lateral sobre los entablados.

En cuanto a la altura del encofrado, ésta depende de la velocidad de levantamiento y el tiempo de fragua del concreto, siendo común alturas entre 0.95 a 1.5 m. Para alturas mayores aumenta la fricción del encofrado innecesariamente y para alturas menores pueden no permitir el endurecimiento del concreto. En el Perú se suele usar entablados de 1.05 m de altura con el fin de dejar un espacio libre encima del concreto fresco de unos 5 cm antes de elevar el encofrado.

Cerchas

Las cerchas o cordones son tablonces de madera o metal de unos 4.8 cm de espesor con anchos de 15 a 25 cm para encofrados planos y de 25 a 30 cm para encofrados curvos. Esta anchura se determina por cálculo en función de las cargas actuantes. El objetivo de las cerchas es resistir la presión lateral del concreto, la cual tiende a deformar el encofrado entre yugo y yugo (similar a los largueros), así como servir de apoyo a los andamios y la plataforma. Las cerchas deben ser rígidas para

poder transmitir los esfuerzos debidos al peso del encofrado y fricción del concreto a los yugos, de allí que se arriostren la cercha superior e inferior con montantes, cartelas y con diagonales formando una viga en celosía. Cada cercha consta de 2 a 3 tablas clavadas o empernadas entre sí para permitir la transmisión de esfuerzos. Generalmente las cerchas en los paneles exteriores están más solicitados que las interiores, razón por la cual son más anchas. En los puntos de izaje, cerca a los yugos, se colocan elementos verticales para distribuir la carga de izaje. La distancia vertical entre las caras inferiores de las cerchas, debe ser igual o menor a la distancia entre las ménsulas de arrastre de los caballetes metálicos (65-75 cm) ya que son piezas estandarizadas, sin embargo conviene que la distancia entre las cerchas sea la menor posible para hacer más cómoda la colocación de las plataformas de trabajo inferiores y para darle más elasticidad a la parte inferior del panel. Cabe resaltar que debido a que el vaciado y vibrado del concreto es por capas de 20 a 30 cm de altura, la presión lateral es menor que en un encofrado convencional.



Foto 3.2 Montantes, diagonales y cerchas

Yugos o Caballetes

Los yugos son marcos metálicos o de madera cuyas funciones son transferir la carga del encofrado al gato y cerrar la forma asegurándola. Esto último es muy importante ya que con los encofrados deslizantes no pueden emplearse tirantes para mantener la separación entre los entablados, razón por la cual se usan falsos yugos, es decir yugos cuya única función es resistir la presión lateral del concreto fresco. Se le llaman yugos portantes a los yugos provistos de gatos y no portantes a los que no lo tienen. El diseño de los yugos está ligado a las patentes, de allí que haya variación en su forma, robustez y diseño; sin embargo, en esencia se podría decir que consisten de la unión de montantes verticales con una a dos traviesas horizontales formando un marco rígido. Tanto las traviesas como las montantes son perfiles metálicos, (en caso no sean de madera) y deben tener un espaciamiento suficiente que permita la colocación del refuerzo horizontal. Algunos yugos permiten un ajuste continuo entre

las montantes y traviesas, logrando así cualquier espesor entre 10 y 45 cm. Otros yugos por el contrario sólo permiten colocar tornillos en agujeros que van de 5 en 5 cm en la traviesa siendo necesario en este caso que el espesor de la estructura sea múltiplo de 5 cm. Ejemplos de patentes de yugos metálicos son Bygging Uddemann, Interform, Gleitbau y Scanada.

Algunas veces se colocan sobre los yugos, entramados de madera o metal que sostienen las instalaciones, permiten el acopio de fierros y guían los fierros verticales en la pared.

Gatos

Los gatos o monos de trepar son elementos fijados a los marcos o yugos que proporcionan la fuerza para levantar los encofrados deslizantes conforme es vaciado el concreto. Para ello, los gatos “trepan” sujetándose a una barra lisa, de la misma forma que un marinero lo hace por un mástil, transmitiendo su carga a través de la barra a la cimentación. Los gatos pueden ser manuales, neumáticos, eléctricos o hidráulicos siendo los primeros los que originalmente se usaron. Estos eran de tornillo similar a los gatos de auxilio para levantar vehículos, aunque también habían de palanca y de palanca y rosca. Su uso hoy en día se reduce a pequeñas obras en planta sin suministro eléctrico debido a los inconvenientes que presentan:

- Congestión en la plataforma de trabajo ya que se requiere gran personal únicamente para accionar los gatos (1 operario sólo puede accionar de 5 a 7 gatos)
- Fuerte sollicitación y desgaste de los gatos al ser su izaje no uniforme

En la actualidad los más usados son los gatos hidráulicos ya que son los que presentan menos inconvenientes así como las siguientes ventajas:

- Ocupan poco espacio
- Son robustos
- No requieren esfuerzo físico
- Se elevan simultáneamente
- Un operario puede controlar un levantamiento que requiere hasta 100 gatos.

El funcionamiento de los gatos hidráulicos es el siguiente: todos los gatos son conectados por una manguera de neopreno de alta presión a una bomba eléctrica, la

cual eleva la presión de aceite en las tuberías y gatos, lo que hace que suban por las barras de trepar. El aceite empleado se encuentra en depósitos de 35 a 50 litros dentro de la bomba y debe ser absolutamente puro aunque cuando la temperatura sea menor a 10°C puede mezclarse con 5 a 20 kg de aceite para transformador a fin de hacerlo más fluido. Para una presión de 20 atm que corresponde aproximadamente a una fuerza de elevación por gato de 1 tn, los gatos menos cargados y más próximos a la bomba empiezan a elevarse.



Foto 3.3 Bomba hidráulica para distribución de aceite

La elevación de la presión continúa hasta 60 atmósferas, momento en que se abre la válvula superior haciendo volver el aceite a la red de depósito. Si fuera necesario forzar la elevación de un gato más cargado que se ha retrasado, se puede aumentar la presión de 60 a 100 atm aunque únicamente con ayuda de una bomba manual. Todas las tuberías o gatos deben quedar perfectamente purgados antes de usar ya que si tuvieran aire, los gatos recibirían presiones diferentes y el izaje no sería uniforme. Cada gato tiene mordazas de acero en forma de mandíbulas dentadas alrededor de las barras de trepar (algunas patentes usan agarraderas de bolas) que impiden el deslizamiento hacia abajo pero permiten el movimiento ascendente. Al aplicar presión al gato, la mordaza superior se fija a la barra de trepar y, cuando la fuerza producto de la presión del aceite sea mayor al peso que carga, el cuerpo del gato subirá, esto hasta que el tope del pistón dentro del gato llegue a su límite. El resorte ubicado entre las mordazas se comprime y al regresar a su posición inicial, una vez terminada la acción de la presión hidráulica, cierra la cámara de carga haciendo volver el aceite de la red al depósito de la bomba y dejando el gato listo para su próximo movimiento. Debido a que hay momentos en que la presión del aceite llega a ser inferior a la carga del encofrado cuando el aceite vuelve al depósito de la bomba, hay un ligero descenso de los gatos, esto hasta que la agarradera inferior se fije sobre la barra. Se calcula que la elevación útil es de 3-8 mm inferior a la carrera de los gatos debido a esta

disminución de presión.

Las capacidades de carga de los gatos varían de acuerdo a las patentes siendo común capacidades de carga de 3, 6, 12 y 22 tn aunque la patente Bygging-Uddemann ofrece también gatos con capacidades de carga de 100 y 400 tn.

Sobre la bomba, ésta puede comandar de 80 a 100 gatos pues el conectar más gatos, haría que el flujo de aceite tarde y su funcionamiento sea más lento y no simultáneo. Cada conducto consta de un circuito con 8 a 15 gatos conectados en serie; si los circuitos son largos, se conectarán menos gatos que en los circuitos cortos ya que habrá más pérdida de presión.

La carrera del gato oscila entre 10 y 50 mm siendo la media entre 20 y 30 mm, debido al ligero retorno del gato. Con la patente Bygging-Uddemann, las carreras son de 25 mm cualquiera sea el gato usado, haciendo posible combinar gatos con distintas capacidades. Con la patente Interform, las carreras por cada levantamiento pueden ser ajustadas para operar el encofrado deslizante con mayor precisión. Normalmente los ciclos de elevación duran entre 5 y 30 minutos siendo un ritmo normal de 5 a 8 elevaciones por hora. En 24 horas se llena entre 3 y 6 m de concreto siendo esta velocidad de deslizamiento totalmente imperceptible al movimiento de la plataforma. Se debe considerar tener gatos y bomba de reserva al lado del que está en servicio en caso de avería así como bombas manuales en caso los gatos se retrasen.

Barras de trepar

También llamadas barras de apoyo, son de acero liso y pueden ser macizas o tubulares. Su función es la de transmitir la carga de los yugos hacia la cimentación a medida que ésta “trepa” por la barra dentro del muro que se está vaciando; por esta razón se colocan placas de apoyo en el extremo inferior de las barras. Debido a que el concreto no está endurecido, el único soporte del encofrado lo darán las barras, haciendo posible desenconfrar pronto el concreto vertido pues sólo soportará su propio peso así como la tendencia a pandear de las barras. La longitud de las barras es variable y oscila entre 2.5 m y 6 m y su diámetro es de 25 mm a 75 mm dependiendo de la patente. Para gatos con capacidad de 3 tn se usan barras de 25 mm de diámetro y para gatos de 6 tn. de capacidad se usan barras de 32 mm a fin de que no pandeen. Los empalmes entre barras se hacen mediante roscas que se ubican en los extremos de las barra ya que no debe haber ninguna saliente exterior para que los yugos no encuentren ninguna obstrucción en su deslizamiento hacia arriba. De igual forma, los empalmes no deben estar en un mismo plano para no crear zonas de

debilidad y para no congestionar la plataforma al unirlos, razón por la cual deben tener longitudes diferentes. Para evitar la adherencia entre el concreto y la barra y poder recuperarlas al finalizar el levantamiento, se emplea un tubo de protección de acero o PVC, de longitud ligeramente menor que la altura del molde y diámetro ligeramente mayor al diámetro de la barra. Este tubo sirve de funda a la barra de trepar y se fija al gato, siendo levantado junto con el encofrado. De esta forma va dejando un orificio que permite extraer las barras de trepar al finalizar el vaciado. Posteriormente estos canales verticales pueden rellenarse con concreto o pueden servir para pasar cables de post tensado o como conducto de instalaciones. En caso las barras de apoyo pasen por algún vano, deberán ser arriostradas para evitar su pandeo. También es importante controlar que las barras no tengan deformaciones que podrían provocar dificultad durante el deslizamiento.



Foto 3.4 Yugos ensamblados a barras de trepar y gatos hidráulicos conectados a mangueras que distribuyen el aceite

Plataforma de trabajo

Como su nombre lo dice, es una plataforma de madera que se eleva junto con el encofrado y cuyas funciones son:

- permitir la circulación del personal obrero
- soportar herramientas y maquinaria
- efectuar el relleno de concreto y montaje de la armadura
- permitir el transporte y acopio de materiales
- colocar marcos para pases e insertos.

En esta plataforma se ubica la central que acciona en forma simultánea los gatos para izar el encofrado y se procura que esté en el centro de gravedad del sistema de gatos, aunque podría darse el caso que la plataforma sea en forma de anillo sobre el contorno de las paredes con lo cual la central no estará en el centro de gravedad. La

plataforma se apoya sobre vigas metálicas o de madera, las cuales se apoyan en las cerchas, de allí que la cara inferior del entarimado deba estar por lo menos 1 cm encima de la arista superior del entablado para que no se apoye sobre ellas. Estas vigas deberán apoyarse entre 2 yugos para no sobrecargar las barras de apoyo. La plataforma puede usarse como encofrado de la losa superior, razón por la cual se diseña para soportar esa carga. Dado que bajo la plataforma, van unos andamios colgantes, también sujetos a las cerchas y que también son elevados con los gatos, se dejan aberturas en la plataforma para permitir el acceso a los andamios colgantes mediante escaleras. Estas aberturas son de aproximadamente 70 x 80 cm y se cubren con tapas móviles. Las tablas que se usan en la plataforma pueden ser de 4.8 cm de espesor y de al menos 18 cm de ancho para resistir el efecto de cargas concentradas o contrachapados de madera de 19 mm de espesor. Igual que en los entablados, se deben dejar juntas de 4 a 6 mm entre tablas para permitir el entumecimiento libre de la madera por humedad. Los huecos de más de 15 cm de ancho deben ser tapados a fin de evitar accidentes por caída de algún material. De igual manera, se debe colocar un pasamanos de madera bordeando la plataforma de 1 a 1.2 m como medida de seguridad.

Dado que los obreros en todo momento están sobre una plataforma que se asemeja a las condiciones de trabajo sobre el piso, se ha encontrado que el rendimiento del personal es mayor en comparación a un sistema convencional trabajando en altura.

Andamios Colgantes

Los andamios se colocan 3 a 4 m por debajo de la plataforma y se cuelgan con barras de acero o madera a las cerchas o yugos de forma que suban con el encofrado. Para ello deben ser colocados en posición vertical para evitar el rozamiento con los muros durante el izaje. Los andamios se acoplan con anterioridad al comienzo del vaciado de concreto y una vez que la plataforma ha avanzado lo suficiente (unas pocas horas después de haber arrancado el molde), se detiene momentáneamente su ascenso para colocar los andamios interiores y exteriores. Los andamios tienen como funciones:

- Controlar el endurecimiento del concreto e inspección del encofrado
- Dar retoques y acabados a las paredes con yutes o esponjas de material plástico; dado que el vaciado del concreto es continuo, el concreto queda más firmemente adherido haciendo la estructura monolítica.

- Separar las partes que presentan segregaciones y reemplazarlo por concreto nuevo.
- Desmontar los marcos en pases e insertos
- Permitir el curado del concreto

Los andamios deben ser robustos para soportar al personal y materiales y serán suficientemente anchos para permitir la circulación de los albañiles y para darles comodidad. Al igual que en la plataforma, llevarán barandas de seguridad las cuales serán cubiertas con mantas a fin de proteger al concreto de las lluvias y viento y para evitar la sensación de altura en los obreros. Las tablas para andamios pueden ser de 3.8 cm de espesor y de al menos 18 cm de ancho. Cuando las operaciones a efectuar exigen mucho tiempo, se puede montar una segunda plataforma interior y exterior



Foto 3.5 Marcos prefabricados para ensamble andamios

Entramados y barras-soportes

Los entramados son piezas de madera o metal montados sobre los caballetes y ubicados en su mismo plano. Éstos cargan a las barras soporte, las cuales son listones o tablas orientadas perpendicularmente a los entramados y siguen el trazo de las paredes. Adicionalmente los entramados deben poder soportar el peso de las instalaciones eléctricas, de aceite o agua y se debe poder acopiar sobre ellas las armaduras, los cables de pretensado si los hubiera y las barras de apoyo, transmitiendo esta carga a los caballetes. Se debe considerar que el encofrado sólo puede soportar entre 200 y 300 kg de cables o barras por metro lineal de pared al momento de determinar la carga sobre los gatos. De igual forma es sobre este entramado que se pueden hacer las marcas para el control de nivelación (ver sistemas de control de nivelación). Las barras soporte por otro lado guían a las armaduras verticales en las paredes y sostienen a las instalaciones eléctricas, de aceite o de agua si fuera el caso.

Sistemas de control de nivelación

Debido a que el sistema de encofrados deslizantes es un sistema que requiere de un trabajo continuo las 24 horas del día, así como que las obras sean de gran altura o repetitivas para que sea económico el sistema, el controlar la nivelación tanto horizontal como vertical del encofrado es de vital importancia. Los desplomes se generan por falta de verticalidad de las barras de trepar causadas por el manipuleo constante, viento, etc. y puede causar problemas de desgarramiento del concreto en caso se perdiera la inclinación del encofrado respecto de la pared de concreto.

Una forma de control horizontal consiste en una red de mangueras flexibles de caucho o materia plástica transparente, las cuales se conectan a tubos de vidrio y que están situados frente a cada gato. En esta red se introduce agua con colorante, para hacerla más visible, hasta que alcance el nivel de las señales hechas previamente en los entramados de madera y que deben estar en el mismo plano horizontal. Para que el nivel de agua no baje por evaporación o fugas, se montan sobre la red uno o dos depósitos de 5 a 10 litros que se conectan a la red con un tubo flexible suplementario. Gracias a este sistema, se puede determinar la horizontalidad del encofrado, observando la posición relativa del agua y las señales hechas. Si la señal se encuentra por debajo del nivel de agua en el tubo de nivel, esto significa que el encofrado por esa zona está retrasado siendo necesario aumentar la carrera del gato. La horizontalidad se verifica después de 2 a 5 elevaciones o cada 2 horas.



Foto 3.6 Control nivelación horizontal con mangueras



Foto 3.7 Control nivelación vertical con plomadas

En algunos sistemas se colocan topes o frenos a cierta distancia, por ejemplo a 0.3 o 0.4 m, en las barras de trepar. Estos topes deben ser alcanzados por los gatos en forma simultánea, caso contrario los gatos no podrán seguir avanzando a pesar de la presión del aceite ya que se desconectarán al chocar los topes con las cabezas de los

gatos. Los gatos que han avanzado demasiado deberán esperar en esta posición hasta que los gatos retrasados lleguen al mismo plano. La colocación de topes debe ser antes del primer levantamiento. En vez de topes, también se pueden colocar arandelas de jebe en las barras de trepar, para lo cual se hacen marcas en las barras haciendo uso de un escantillón metálico. Si bien en este método no se detienen los gatos, sirve para observar qué gato se ha atrasado respecto a los demás.

“Una cuarta forma de control horizontal es con una mira graduada, en metros y decímetros, hecha con tablas cepilladas o barras metálicas y colocada verticalmente desde la cota cero y fijado sobre la torre de acceso al lado del encofrado deslizante. Para ello se marcan sobre la mira las cotas importantes como vanos de puertas, ventanas, etc.” (Dinescu et al, 1970).

Finalmente también se puede verificar la nivelación horizontal por medio de indicadores fijados sobre las barras de apoyo que indican el nivel sobre una serie de reglas graduadas, fijadas a los entramados-soporte que se encuentran en los caballetes.

Para la nivelación vertical, se utilizan plomadas, las cuales indican si el encofrado se ha deslizado respecto al eje de la construcción. Para ello se trazan puntos de referencia sobre las paredes de la construcción y las plomadas se ubican en puntos interiores de la obra a fin de que no se vean afectadas por corrientes de aire. Los alambres que sujetan las plomadas, deben ser de longitud superior a la altura de la obra, y están enrollados a poleas ubicados bajo la plataforma de tal forma que a medida que suba el encofrado, el alambre se vaya soltando y la plomada esté siempre en la base de la obra. La verificación de plomadas se hará cada seis horas pero nunca en períodos mayores a 24 horas. En construcciones de una célula se fijan cuatro plomadas ubicadas en dos ejes rectangulares. Otras formas de controlar la verticalidad son verificando que el yugo esté con el cabezal horizontal para asegurar que las barras de apoyo estén verticales o verificar constantemente el espesor de los muros.

Adicionalmente en silos unicelulares, se deberá controlar que no haya rotación del encofrado producido por el efecto de coriolis, el cual causa que haya inclinaciones tangenciales en un conjunto de barras de trepar. Para reducir este efecto, se cambiará el sentido de circulación y vaciado del concreto cada dos horas. En caso se haya perdido la verticalidad de la construcción, se corrige adelantando los gatos en la zona que se han atrasado para inclinarlo hacia el sentido contrario. En otros casos, cuando

no es posible modificar la carrera del gato, se nivela el molde haciendo uso de bombas manuales para nivelar los gatos atrasados. En caso haya avería de algún gato, éste puede ser aislado del sistema general y cambiado poniendo vigas auxiliares entre los cabezales de los gatos vecinos para que soporten la carga del gato a cambiar.

Instalaciones diversas

Estas involucran a las instalaciones eléctricas y de agua. En países con climas muy fríos, el contar con sistemas de calefacción es esencial para permitir el fraguado del concreto.

En general se deberá contar con una red de fuerza de 380/220 V trifásico para dotar a la obra de iluminación, dada la necesidad de trabajo nocturno, y para accionar los motores de las bombas hidráulicas y equipos auxiliares como los vibradores de concreto o soldadores. Se proveerá iluminación, mediante circuitos independientes, a la zona de encofrados, a la zona de habilitación de fierros, a la zona de almacenamiento, a la zona de carpintería, a las zonas de circulación, a las oficinas, vestuarios, etc. La razón por la cual será mediante circuitos independientes es para que en caso de interrupción no se quede sin iluminación toda la obra. De igual forma la red de alimentación a la bomba será con un circuito independiente. Especial cuidado con la iluminación se tendrá en la zona de trabajo como por ejemplo la zona de acceso a los andamios colgantes, la plataforma de trabajo y en los sitios donde se ubiquen los controles de nivelación. Como ya se mencionó las bombas se ubican en la plataforma de trabajo por lo que la conexión al tablero de distribución, situado cerca de la obra, se hará mediante un cable trifásico protegido con un tubo de doble forro de neoprene, resistente a la humedad, el cual se irá desenrollando a la par que el encofrado sube. Dado el alto riesgo que hay de electrocuciones o incendios se coloca sobre la plataforma, y no en los andamios colgantes por la dificultad de observarlos, un transformador a fin de reducir el voltaje a una baja tensión: 24 V. De igual forma todos los equipos, tanto vibradores eléctricos como las bombas hidráulicas, deberán contar con líneas de tierra para reducir riesgos de descarga. Para la iluminación se pueden usar bombillas de 60 a 100 W, instalados entre caballetes a 1.5 y 3 m, o reflectores o tubos fluorescentes colocados sobre su contorno a una tensión de 220 V. En caso de interrupción de fuerza o iluminación por más de 20 minutos se hará uso de un grupo electrógeno de emergencia de unos 10 KW para mantener el funcionamiento de las bombas de aceite e iluminación. Como última opción se elevarán los encofrados con bombas de mano dado el riesgo a que se adhiera el concreto al encofrado.

Debido a que las estructuras que se suelen hacer con encofrados deslizantes son de gran superficie y poco volumen, hay una gran evaporación de agua lo que podría llevar a una paralización de la fragua por falta de curado. Debido a esto, es de vital importancia el curado, el cual deberá realizarse por lo menos durante 7 días. El curado de la estructura de concreto se puede hacer ya sea con agua o con membranas químicas, siendo la segunda opción la más popular hoy en día, ya que no es práctico ni efectivo curar a base de humedad debido a la velocidad con la cual va creciendo la estructura y porque la humedad no llega hasta la parte inferior de la estructura, perdiéndose por absorción y evaporación. Sin embargo en caso se use agua para curar, esto se puede hacer ya sea con mangueras flexibles o con una instalación fija de tubos de material plástico o de acero fijada sobre la plataforma inferior y perforada a cada cierta distancia (tipo flauta). El flujo que salga de esta tubería deberá ser muy bajo para no erosionar el concreto semi plástico. Esta tubería debe quedar montada en todo el perímetro del encofrado antes de iniciar el levantamiento y por medio de uniones flexibles se conecta a la línea de alimentación que generalmente va montada en la torre de acceso a la plataforma (ver acceso del personal a la plataforma). En caso la presión sea débil, se debe prever una bomba y un depósito de agua. Otros usos del agua son para aseo personal, para preparar el mortero en acabados, para apagar bocas de incendio, etc.

Marcos y Moldes para huecos y aberturas

“Los marcos y moldes sirven para dejar aberturas en la estructura de concreto para puertas y ventanas o para apoyar los forjados. Pueden ser de madera, contrachapado, metal, plástico o cualquier material con resistencia suficiente para soportar las cargas sin deformarse. Los marcos se montan en el encofrado deslizante a la cota prevista y se retiran de las paredes después del paso del encofrado, una vez que el concreto ha endurecido lo suficiente como para mantener su forma” (Dinescu et al, 1970). Esta operación la realizan los obreros desde la plataforma inferior. En caso las luces de las ventanas sean importantes, una vez retirado los marcos, pueden montarse tablonces de 4.8 cm de espesor bajo los dinteles a fin de que no cedan por su propio peso. Estos tablonces serán sostenidos por uno o dos puntales, de tal forma que los marcos puedan ser retirados antes de endurecer totalmente el concreto. El espesor de los marcos debe ser de una profundidad menor al espesor de los muros, esto con el fin de que quede un espacio libre entre el marco y los paneles del encofrado y evitar así que sean arrastrados al elevarse el encofrado. De igual forma los marcos tendrán una inclinación de 10 a 15 % para poder extraerlos con facilidad.

En caso los marcos sean de madera, serán de tablas de 3.8 a 4.8 cm de espesor, deben ser de buena calidad y la cara que estará en contacto con el concreto estará bien cepillada y engrasada antes de volver a usar; esto para favorecer su extracción. Para que los marcos no se deterioren con los martillazos que se les da para sacarlos de las paredes, se fija en cada uno de los ángulos, una pieza triangular maciza de madera de encina para que reciba los golpes del martillo y no recaigan directamente sobre los marcos. Siguiendo estas recomendaciones, los marcos de madera pueden tener unas 25 reutilizaciones y para el caso de moldes metálicos de entre 100 a 150 reutilizaciones (Dinescu et al, 1970). Adicionalmente, para que los marcos no se desplacen lateralmente, se fija sobre el entarimado superior a los dos lados del hueco y adyacentes al marco, dos ayuda guía, las cuales se colocan unos 30 cm por encima del entarimado para permitir la colocación cómoda de las armaduras de los dinteles. Análogamente para garantizar que los marcos no sean arrastrados verticalmente, se amarran a la armadura vertical del muro.

Acceso a la plataforma

Una vez iniciada la elevación de la plataforma de trabajo, se puede ascender a ella por medio de un andamio, el cual se monta contiguo a la obra y se le emplaza una escalera de acceso. Este andamio deberá ser construido con anterioridad al levantamiento del encofrado de modo que siempre esté a una cota superior y se pueda garantizar el ingreso a la plataforma. En las construcciones muy altas, el acceso se puede hacer con la ayuda de un ascensor especial que suba con el encofrado.



Foto 3.8 Escalera de acceso para ingreso a la plataforma de trabajo

Para el abastecimiento del concreto, se puede hacer uso del andamio empleando un balde de volteo accionado por winches. Una vez que el montacargas

esté a la cota prevista, el concreto es descargado con ayuda de un chute a carretillas que se encuentran sobre la plataforma para el transporte horizontal del hormigón y su posterior vaciado. Otra forma de transportar los materiales a la plataforma, es mediante una grúa torre, la cual puede ser fija o móvil, esto tiene la ventaja de asegurar igualmente el transporte de los otros materiales necesarios como son los marcos, armadura, moldes, etc; en el caso del montacargas hace falta maquinarias especiales. El transporte del concreto a la plataforma se hace con cubas metálicas de 0.4 a 0.8 m³ y se descarga sobre la plataforma superior contiguo al encofrado para luego ser introducido con ayuda de palas. En el caso del transporte de las armaduras, evitar sujetar las barras en paquetes así como colgarlos del gancho de la grúa. Para ello el transporte será en jaulas especiales que se suspenden del gancho de la grúa, las cuales se construyen con barras de acero de armar (Dinescu et al, 1970). En caso el área a cubrir por la pluma de la grúa sea grande, es posible montar una grúa torre sobre la plataforma misma para facilitar el transporte horizontal en la plataforma.



2) Montaje del encofrado deslizante

Selección de la madera

La madera para que pueda ser usada como encofrado deslizante debe ser resistente a la acción mecánica severa a la que está expuesta. Antiguamente se utilizaba madera Pino Oregón ya que era la más dura entre las maderas blandas y porque con los cambios de humedad no se deformaba; sin embargo debido a su alto costo, se prefiere en la actualidad madera nacional, siendo la más utilizada la del tipo Tornillo. Esta madera es menos resistente que el Pino Oregón y tiene el inconveniente que tiende a torcerse al humedecerse, de allí su nombre, por lo que se usará sólo en los elementos que no estén en contacto con el concreto. Para el machihembrado se utilizará madera Caoba por las cualidades de conservación y flexión que posee (Braganini et al, 1999).

Preparación de los materiales

Las piezas de madera para el entablado tendrán un espesor de 1" y 10 cm de ancho para lo cual serán cepilladas en sus cuatro lados dejándoles ranuras y lengüetas; la longitud de las tablas será de 1.05 m. Las tablas se cortarán de manera que el sentido de las fibras no permita la formación de virutas durante el deslizamiento. Debido al contacto continuo de los paneles de madera con el concreto en estado fresco y que originan variaciones del volumen de la madera por su saturación con el agua de la mezcla, éstas tendrán un menor número de reutilizaciones y serán de una calidad superior por lo que se les impregnará con un producto impermeabilizante que reduzca la absorción de agua, es así que las maderas serán sumergidas en un recipiente que contenga aceite de linaza, la cual tiene la propiedad de no hinchar la madera, y serán previamente agrupadas en paquetes, siendo apiladas alternándolas con listones transversales amarradas con alambre N° 14 ó 16. Con esta disposición en los paquetes se garantiza que al sumergir las maderas en el aceite, ésta pueda penetrar en todas las tablas machihembradas y también para evitar una eventual deformación durante el secado. El aceite de linaza en el cual se sumerge la madera, será calentado a baño maría hasta que el aceite penetre en las tablas (Gallegos, 1996). Esto se puede verificar haciendo un corte a un pedazo de madera y viendo el grado de penetración; en caso el aceite esté muy espeso y no las pueda penetrar, se aligerará agregándole petróleo diesel cuyo costo es menor. Posteriormente se

colocarán los paquetes en un andamio sobre el recipiente de aceite y se dejarán escurrir durante 30 minutos, haciendo que el aceite caiga nuevamente sobre el recipiente; el rendimiento aproximado de petróleo es de 0.5 a 0.7 galones por metro lineal de molde. Se evitará dejar los paquetes expuestos al sol por lo que se almacenarán bajo techo y con bastante ventilación.

Replanteo del encofrado

El replanteo del encofrado se hará a escala natural sobre una losa de concreto pobre, dado el gran diámetro de los silos el replanteo se hará parcialmente en un cuarto de círculo para reducir así la superficie de replanteo. Cerca de la esquina de la losa y antes de que el concreto de la losa haya endurecido, se introducirá un clavo materializando el centro del encofrado circular. Para el replanteo del contorno de los encofrados, se fabricará un compás de carpintero el cual constará de un madero cepillado con longitud igual al radio deseado provisto en una de sus extremidades de una duela que se fija al clavo y en la otra de un lápiz de carpintero; la medida del radio deseado se tomará con una cinta metálica (Dinescu et al, 1970). Dado que los entablados del encofrado se fabricarán con el mismo espesor en ambos extremos, con el fin de darles la inclinación requerida, se aumentará el radio de la cercha inferior (para el encofrado exterior) y se reducirá en el encofrado interior. Es así que para confeccionar las cerchas, se tendrá en cuenta la posición que ubican en la vertical así como la inclinación de los paneles para fijar el radio de la cara sobre la cual será fijado el entablado. De esta forma sobre la plataforma se harán tres trazos circulares, uno con el radio medio de la pared, otro con el radio interior de la cercha superior y otro con el radio interior de la cercha inferior en su cara orientada hacia el concreto considerando que el espesor de diseño de la pared será a la mitad del encofrado o en el sitio donde el concreto pierda sus características de plasticidad; estos trazos circulares también servirán para el montaje de ensayo.

Confección del encofrado

Para la confección de las cerchas se usarán tablones de 2"x 12" y de 4 pies de largo. Para ello sobre la superficie de replanteo en los trazos previamente realizados se colocarán las tablas en doble tablón, solapados y fijos y con el compás de carpintero se trazarán sobre ellos los radios respectivos (Bragagnini et al, 1999). Dado que la unión entre los tablones no es a tope se les numerarán para poder ser identificados durante el montaje posterior pues las curvaturas no serán iguales. Los tablones utilizados serán seleccionados separando aquellos que presenten partes

rojizas, podridas o fisuradas y se cortarán con la sierra de cinta sobre el trazo, cepillando luego el borde que estará en contacto con el entablado para asegurar una superficie tan perfecta como sea posible. Los tabloncillos cortados podrán servir como plantillas posteriores para cortar las cerchas restantes. A continuación los tabloncillos se colocarán en la plataforma con el borde interior cepillado siguiendo el trazo hecho sobre la losa y se ensamblarán por medio de pernos de $\frac{1}{2}$ " y con arandelas, los agujeros se perforarán con taladradora después de la puesta en posición. Durante el montaje se dejarán juntas de 5 a 10 mm entre cerchas para montar cómodamente los paneles vecinos por lo que se dejarán los cordones un poco más cortos, asimismo las tablas de los cordones superiores e inferiores se colocarán en escalones en el mismo sentido de modo de facilitar el posterior desmontaje por subconjuntos. Confeccionadas las cerchas superior e inferior, se colocarán sobre soportes temporales a su altura definitiva, cuidando que la distancia entre cerchas sea la misma en relación a las ménsulas de los yugos. Colocada las cimbras se procederá al forrado del molde luego para colocar la madera machihembrada clavada a las cerchas, previamente se preparará un escantillón hecho de una regla de 4" con el desplome requerido del molde a construir, por lo cual se cepillará una de sus caras de forma que el espesor en la parte superior sea menor que en la parte inferior (Gallegos, 1996). Las maderas machihembradas se fijarán a las cerchas con 4 clavos de 89 mm (2 para la fijación en la cercha superior y 2 en la cercha inferior) verificando con el escantillón que tenga el desplome requerido, asimismo se verificará la verticalidad del escantillón apoyando sobre la cara no cepillada un nivel de mano o con una plomada. Antes de fijar las tablas a las cerchas, éstas se regarán a fin de que la humedad sea similar a las condiciones de servicio y se dejarán juntas de unos 4 a 5 mm. entre sí por la expansión de madera, éstas juntas serán verticales para evitar la rugosidad transversal durante el izaje y serán calafateadas posteriormente con jabón para mejorar su impermeabilidad. Una vez que el entablado se ha fijado a las cerchas, se montarán las montantes y diagonales de 3" x 4" ajustándolas a fin de riostrar las cerchas formando con ello una viga en celosía. Las montantes se colocarán con una separación de 0.6 m. y se fijarán a las cerchas con dos clavos en sus extremos y al entablado con clavos cada 15 cm. Dado que habrán diagonales que estarán en tracción cuando se carguen las cerchas, se colocarán tirantes metálicos de $\frac{1}{2}$ " al lado de las montantes a fin de mantener la distancia entre cerchas. El encofrado deberá ser desarmado por partes y nuevamente armado en el lugar de utilización por lo que los paneles se marcarán con pintura para permitir su fácil identificación y montaje.

Montaje del encofrado deslizante

El deslizamiento del silo exterior empezará sobre la cota +7.15 m. y en el silo interior en la cota +10.95 m. que son las cotas donde los fustes son uniformes por lo que los apoyos de los encofrados se harán sobre los muros sacando de estos voladizos de pequeña luz evitando apoyarlos sobre puntales y asegurando una horizontalidad perfecta en el nivel sobre el que serán montados. Previamente se replanteará la parte inferior del contorno de los mismos y se verificarán los ejes y centro desde referencias fijas situadas al exterior de la construcción. Se limpiará la superficie sobre la cual serán montados los encofrados deslizantes y se corregirá en caso se requiera la posición de la armadura mal colocada. Se iniciarán los montajes con los paneles interiores de modo que permanezcan abiertos en una de sus caras, esto permitirá la posterior colocación de los fierros horizontales. Los paneles se sostendrán con soportes provisionales y se montarán con la inclinación correspondiente con ayuda de la plomada y nivel de carpintero. A continuación se hará el montaje de los primeros tramos de la armadura atando en cada intersección las barras horizontales a las barras de espera y se seguirá con el montaje de los paneles exteriores para continuar luego con los yugos. El replanteo de la posición de los yugos metálicos sobre los encofrados deslizantes se hará de acuerdo a los planos de ejecución: los yugos se colocarán cada 1.2 m. en el fuste interior con gatos de 3 tn. y 6 tn. de capacidad para los yugos que cargan las vigas de trabajo mientras que para el fuste exterior se emplearán únicamente gatos de 3 tn. espaciados cada 1.8 m. en virtud que su carga es menor. Se empezará colocando las piernas de los yugos a las cerchas fijándolos provisionalmente por medio de cuñas y clavos luego de lo cual se fijarán por medio de pasadores a los cabezales de los yugos con ayuda de un nivel de mano; para verificar la verticalidad de las piernas se hará uso de una plomada. Los yugos quedarán perfectamente centrados respecto al eje de la pared y con la separación entre piernas igual al espesor del muro. A continuación se introducirán las placas metálicas entre las paredes del encofrado así como las fundas de PVC para la recuperación de las barras introduciéndolas entre las traviesas. Éstas irán solidarias al yugo, para lo cual se fijarán a soportes ensanchándolas en caliente y tendrán un diámetro ligeramente mayor a las barras de apoyo así como una longitud ligeramente menor. Se fijarán sobre las traviesas los gatos hidráulicos de 3 y 6 tn de capacidad cada uno, verificando su horizontalidad y verticalidad y cuidando queden centrados sobre el eje de la pared; previamente se verificará el estado de los gatos reemplazando en caso sea necesario las piezas desgastadas y verificando el funcionamiento de los grifos, del resorte, etc.. A continuación se introducirán las barras de apoyo entre los gatos de 1" de diámetro para las barras que carguen gatos de 3 tn y de 1 ½" para las barras que carguen gatos de 6 tn. introduciéndolas de arriba

abajo y dentro de las fundas de recuperación de forma que queden sobre las placas de apoyo y se controlará el apoyo de cada barra sobre la placa golpeando con un martillo de madera. Se colocará fieltro asfáltico al inicio de la barra de trepar contra la base a fin de que no se adhiera al concreto endurecido, asimismo las barras tendrán agujeros en sus extremos para permitir la unión roscada y antes de emplear se verificará no tenga deformaciones ni rebabas. Las primeras barras que se metan en los gatos tendrán longitudes tan diferentes como sea posible mientras que en el resto de la altura tendrán la misma longitud. A fin de evitar la salida de concreto por la parte inferior del encofrado debido a su inclinación se colocarán listones entre el borde inferior de los paneles y la superficie sobre la que se apoya el encofrado, y se montarán bridas a las cerchas a fin de colgar posteriormente los andamios colgantes. Se fijarán a las traviesas metálicas los entramados soporte y se montarán encima las barras que sostienen las instalaciones eléctricas, las cuales serán de alambre indoprene dentro de tubos plásticos pesados, así como las armaduras. Asimismo sobre los entramados se fijarán tuberías de caucho para el control horizontal los cuales serán orientados de manera que puedan ser fácilmente verificados y se marcará sobre las tablas el nivel para efectuar el control, esto se hará con ayuda de un nivel. Los tubos en el soporte se conectarán a tees para la ramificación así como a un depósito que abastecerá agua a la instalación alimentando a la red continuamente por medio de un depósito de compensación; el agua será coloreada para hacer el nivel más visible y las conexiones serán probadas con agua bajo presión. Se extraerá el aire de la red presionando sobre el tubo flexible hasta que no aparezcan burbujas en los tubos de nivel de agua y se abastecerá entonces del agua hasta que suba en todos los tubos al nivel indicado. Finalizado el montaje se quitarán virutas y cuerpos extraños y se lavará con agua a presión tanto el encofrado como el concreto sobre el cual se apoya.

Debido a que el vano conformado por el fuste del silo interior es excesivamente grande y no es idóneo utilizar una plataforma completa que cubra toda el área, se ha optado por un anillo o pasarela anular soportado por perfiles metálicos y apoyados sobre las cerchas, mientras que para el silo exterior se colocarán voladizos, uno de los cuales será provisional hasta que alcance la cota del encofrado interior de modo que apoyando viguetas de 4"x6" sobre las cerchas y sobre estas planchas de triplay de 19 mm se construya una segunda plataforma que cubra el vano entre fustes. Se ha optado por que el encofrado exterior se deslice de la cota +7.15 m. hasta la cota + 10.95 m. deteniendo el deslizamiento y procurando que haya una separación total del encofrado con el concreto, pues mientras menor sea la altura a la que se monte la plataforma, ésta será más económica y requerirá de menor tiempo de montaje; esta

plataforma también servirá para el posterior encofrado de la losa de cierre. De igual manera la descarga de concreto será sobre esta plataforma y es indispensable que tanto el encofrado del fuste exterior como del fuste interior avancen a un mismo ritmo a fin de tener las plataformas niveladas. Para la plataforma de trabajo del fuste interior se ha pensado utilizar las vigas de alma llena W 30 x 90 que soportan la losa de cierre. Debido a que el apoyar las vigas sobre la cercha superior elevaría demasiado la plataforma en relación al borde superior del encofrado deslizante, dificultando por consiguiente el armado de la armadura en las paredes del fuste así como el vaciado de concreto, se ha preferido apoyarlas sobre la cercha inferior, esto en virtud a la luz libre de 70 cm. que existe entre cerchas y debido a la transición del peralte de las vigas de 75 cm. a 47.5 cm. en sus extremos. La ubicación de las vigas en la plataforma de trabajo está condicionada por su ubicación en la losa de cierre, esto debido a que las vigas tienen una longitud fija a fin de que descansen sobre la pared del fuste, es por ello que para que las vigas puedan apoyarse sobre las cerchas será necesario desplazarlas lateralmente algunos centímetros hacia el interior del silo. El plano de la losa de cierre indica seis vigas W 30x90 de longitudes variables y dispuestas paralelas, dos de ellas con longitudes mayores de 14 m. que es el diámetro del silo interior, es por esta razón que estas dos vigas no serán elevadas junto con la plataforma de trabajo sino que serán colocadas en sus posiciones sobre el fuste posteriormente. Las vigas restantes sí se apoyarán sobre las cerchas, dos a cada lado del centro y separadas entre sí de acuerdo a la longitud que dan las cerchas opuestas. El plano de la losa de cierre también indica que las vigas W 30x90 están arriostradas lateralmente por vigas W 18x35 mediante soldaduras de filete de 3/16", esto con el fin de que las fibras superiores de las vigas fluyan antes de pandear, sin embargo toda vez que la separación entre vigas en la losa de cierre no es la misma que en la plataforma de trabajo, la soldadura se realizará recién una vez que las vigas descansen sobre el fuste en sus posiciones definitivas. Para salvar la luz existente entre las vigas diametralmente opuestas y apoyar las soleras de la plataforma se ha dispuesto emplear las vigas W18 x35. Para ello en el alma de las viga W 30x90 y a 1.7 m. de cada extremo se punzonarán dos huecos para recibir pernos de montaje A-325 N de $\frac{3}{4}$ " y fijar sobre ellas ángulos de asiento de 4"x3"x3/8"x6" formando una parrilla; previamente a las vigas W18x35 se le recortarán las alas mediante corte con oxígeno a fin de que las alas superiores en ambas vigas estén al ras. Para evitar el desplazamiento lateral de la viga sobre el ángulo de asiento, la práctica común es usar conjuntamente con el ángulo inferior, otro ángulo superior, empleándose con frecuencia el de 4"x4"x1/4" ya que supuestamente no reciben carga, sin embargo dado que no hay el espacio sobre la viga, el ángulo se localizará a un lado. Se fijará el alma de la viga al ángulo lateral también con pernos A- 325 N de $\frac{3}{4}$ " (Mc Cormack, 1996).

Este mismo procedimiento también se seguirá cuando se deban soldar las vigas transversales de modo de facilitar la operación de soldadura prescindiendo sí de los ángulos superiores o laterales.

El montaje de la plataforma de trabajo se iniciará replanteando sobre la cercha inferior la ubicación de las vigas W30 x90 y sobre éstas se fijarán los ángulos de asiento. Las vigas se elevarán con ayuda de la grúa torre hasta su posición sobre la cercha sujetándolas de sus extremos. Las vigas se elevarán hasta una altura ligeramente mayor al del borde superior del encofrado e irán descendiendo por el centro del silo de modo que no encuentren obstrucción por la cercha superior para luego desplazarlas lateralmente hasta apoyarlas sobre la cercha inferior en su posición definitiva; no será necesario utilizar placas de apoyo para redistribuir la reacción de las vigas sobre la madera o de la cercha sobre el ala de las vigas que tienden a doblar hacia arriba su patín inferior. A continuación se elevarán las vigas W 18x35 y se apoyarán sobre los ángulos de asiento previamente fijados a las almas de las vigas. Se cuidará que en la zona inmediata inferior al apoyo esté soportada por las montantes y diagonales de madera de acuerdo al modelamiento realizado. Los largueros serán de 4"x6" y se ha dispuesto colocarlas espaciadas a 60 cm. A fin de fijar los entablados a las vigas, previamente se amarrarán soleras de madera mediante alambre No 8 clavando luego los largueros a estas soleras y la cercha; como entarimado se usarán paneles contrachapados de 19mm. Esta es la misma disposición que en los paneles prefabricados de la pared lateral de la tolva los cuales tienen marcos de 2" x 6" luego podrán reutilizarse colocando los paneles a tope. "Durante el montaje del entablado se tendrá cuidado de que la cara inferior del entarimado no se apoye sobre la arista superior de las paredes de los paneles y se recubrirán los huecos alrededor de los yugos y se ejecutarán las trampillas y escaleras de acceso, las mesas y cabinas para las bombas de aceite, así como las barandas provistos de un pasamanos" (Dinescu et al, 1970). A continuación se montarán las bombas electro hidráulicas de aceite las cuales se conectarán a la red de fuerza y se enlazarán a los gatos por medio de tubos flexibles; deberá disponerse una bomba de reserva en caso de avería y se protegerán contra la intemperie en cabina cubierta. Previamente se revisará el estado de las bombas, del estado de los distribuidores y grifos, de las válvulas de reglaje, del manómetro, del grifo de 3 vías y del conmutador, del funcionamiento de la bomba eléctrica y del reglaje de presión, de la bomba manual y si en la posición bloqueada se mantiene la presión constante (Dinescu et al, 1970). Los gatos también se conectarán entre sí con tubos flexibles colgándolos a las barras soportes de la instalación de iluminación por encima de los yugos así como a las cerchas. Los conductos se montarán con cuidado para que no haya pérdidas de aceite en los empalmes enlazando en un mismo circuito entre 8 a 15 gatos por lo que se

conectarán en serie y se hará la conexión de retorno a la bomba. Se conectarán igualmente entre ellas las bombas electro hidráulicas por medio de tubos flexibles de modo que en caso de avería de una bomba se pueda continuar el trabajo con otra y se abastecerá los depósitos de las bombas con aceite mineral de buena calidad en una cantidad aproximada de 50 kg. por bomba. La viscosidad del aceite será SAE 30 W a 20 °C y se podrá reducir la viscosidad añadiendo aceite de transformador. Uno a uno se cebarán los gatos y se harán elevaciones en vacío verificando la estanqueidad de los tubos o conductos de aceite y que todos los gatos hayan funcionado, caso contrario serán reemplazados. Se preverá una reserva del 10 al 15 % del número de unidades requeridas. Finalizado el montaje se quitarán virutas y cuerpos extraños y se lavará con agua a presión el encofrado.

Debido a que los encofrados se empezarán a deslizar sobre una altura y no desde la cimentación, será posible el montaje de los andamios colgantes inmediatamente y simultáneamente con los voladizos del silo exterior. Para ello previamente se ensamblarán los marcos que constituyen los soportes de los entablados y consisten en largueros de 2" x 6" x 4' que a su vez soportan los travesaños donde se apoyan los entablados. Estos podrán hacerse con dos listones de 1" x 6" x 4' a cada lado del larguero. Los entablados serán dos tablonos de 2" x 12" x 8'. A fin de rigidizar los marcos se colocarán diagonales conformados por dos listones de 1" x 6" uno a cada lado del larguero y las uniones entre los elementos será con 5 clavos de 89 mm, las barandas podrán ser tres listones de 1" x 4".

3) Vaciado del concreto y colocación del fierro de refuerzo

Velocidad de izaje

La velocidad de izaje del encofrado deslizante está determinado por la velocidad de fragua del concreto así como por la organización de la obra, fluctuando entre una velocidad mínima de 5 cm/ h, para que no se adhiera el encofrado al hormigón, lo que representa 3 elevaciones por hora, y una máxima de 25 cm/ h a fin de que el concreto se separe al menos 10 cm. del encofrado en su borde inferior, esto significa que el concreto alcance una resistencia de 1.5-2 kg / cm². Entre este rango la velocidad efectiva se fijará cada 2 a 3 horas teniendo en cuenta la organización, la disponibilidad de equipos, recepción del concreto, etc..

La velocidad de fragua del concreto está determinado por la curva granulométrica de los agregados, tipo de cemento, relación a/c, grado de compactación, temperatura del concreto y su posterior tratamiento. A fin de que el concreto mantenga su forma, arriostre las barras de apoyo y se separe del encofrado, se requiere que el fraguado comience alrededor de 1 ½ a 2 horas y termine a las 4 ó 6 horas de modo de que alcance la resistencia requerida 4 a 8 horas después de su colocación. En ese sentido, el concreto al interior del encofrado deslizante se encontrará en diferentes grados de endurecimiento: un estado fresco en la parte superior, fraguando en el centro y endurecido en la parte inferior. Normalmente la separación del concreto tiene lugar a una profundidad comprendida entre 65 cm. y 85 cm. por lo que se deduce que permanece encofrado durante 3 horas para una velocidad máxima de 25 cm/ h y 16 horas para una velocidad mínima de 5 cm/ h; la velocidad media está entre 10 y 15 cm/ h pudiendo llegar a 20 cm/ h. En el caso del cemento Puzolánico tipo I-P a utilizar, el fraguado inicial se da alrededor de las 2 horas y el fraguado final a las 3 h 40 min. aproximadamente. (Pasquel, 1996)

Como primera aproximación para determinar la máxima velocidad de deslizamiento del encofrado, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$V \text{ max} = \frac{h-a-10 \text{ cm}}{T} / h$$

Donde

T horas: tiempo necesario después de la puesta en obra del concreto para que el concreto alcance una resistencia de $1.5 - 2 \text{ kg/cm}^2$

h cm: altura del encofrado

a cm.: profundidad de capa

Para un encofrado de 1.05 m., una profundidad de capa de 20 cm. y T de 5 horas se obtiene que la velocidad máxima de deslizamiento es:

$$V \text{ máx} = 15 \text{ cm/h}$$

Sin embargo el tiempo T debe determinarse para diferentes temperaturas a fin de obtener distintas velocidades máximas pues si se tiene buena capacidad de izaje del concreto o si el clima es caluroso se tratará de llevar el molde con una mayor velocidad de izaje.

De acuerdo a la fórmula anterior se infiere que se puede aumentar la velocidad reduciendo T con cemento de fraguado rápido o bien aumentar la altura del encofrado o bien actuar sobre ambas variables (Dinescu et al, 1970).

Cada 10 cm de incremento del espesor de la tanda significa una reducción aproximada de la velocidad máxima en 11 % aproximadamente, luego no debe superar los 20 cm.

Se debe hacer ensayos preliminares de velocidad de fragua para determinar el momento adecuado del primer levantamiento: éste no será correcto si hay desprendimiento debido a exceso en la velocidad de izaje o si hay arrastre o se adhiere al molde por un izaje lento. Una práctica para controlar la fragua en el concreto es haciendo una columna en el área vecina preferentemente a mediodía y en días cercanos al vaciado a fin de ir viendo el comportamiento del concreto, cómo se va endureciendo por razones de temperatura del ambiente, calidad del cemento, temperatura de áridos, etc.. Cuando se termine de vaciar la columna, con una varilla

de $\frac{1}{2}$ " tratar de hundirla con el esfuerzo de un solo brazo y anotar la longitud de varilla que ha penetrado en el concreto, repitiéndolo en intervalos de tiempo cada vez menores.

La velocidad de izaje no será en ningún caso mayor que la velocidad para la cual ha sido diseñada la forma y su velocidad será mayor durante el día que durante la noche, de igual forma se elegirá maquinaria de forma que asegure una velocidad de deslizamiento de al menos 2 m por día.

Colocación del fierro de refuerzo

Finalizado el montaje de los encofrados deslizantes a sus cotas respectivas, de sus instalaciones de control de nivel vertical y horizontal, del equipo de izaje y luego de disponer todo el fierro estructural, incluyendo barras de apoyo, habilitado y etiquetado señalando el nivel de empleo o utilización, así como los insertos y marcos para vanos, se procederá al vaciado de concreto. Dado que el deslizamiento en los silos empiezan en niveles diferentes, se empezará con el silo exterior cuyo deslizamiento empieza en la cota +7. 15 m. Cuando la plataforma superior llegue hasta la cota +10. 95 m., se elevará en vacío el encofrado de modo que el concreto no se adhiera al encofrado y para que haya el tiempo suficiente para el montaje de la plataforma, para ello se apoyarán listones de 4"x6" cada 60 cm y sobre estos contrachapados de 19 mm.. Es necesario que la velocidad de deslizamiento entre ambos encofrados deslizantes estén sincronizados de modo que la plataforma exterior esté nivelada. Precisamente será sobre esta plataforma donde se realizará la descarga de concreto para la ejecución del fuste.

Debido a que se requiere que no haya interrupciones durante el levantamiento del encofrado deslizante, es indispensable disponer de todos los materiales antes de iniciar su izaje a fin de garantizar su continuidad. En ese sentido, se preverá zonas de depósito para cada uno de los materiales los cuales incluyen: fierro estructural y barras de trepar, marcos para vanos de puertas y ventanas, encofrados de cajuelas donde se alojarán los forjados o bloques de espuma de poliuretano expandido en caso los vanos sean de dimensiones pequeñas, etc.

Se hará un estudio detallado de la armadura requerida, nivel por nivel, a fin de tener el 100 % de la armadura clasificada y ordenada. En la cancha de habilitación se encontrará toda la armadura debidamente habilitada e identificada de modo que sea fácil de ubicar y pueda ser trasladada a la plataforma cuando sea requerida. Las etiquetas deberán señalar el nivel de empleo o utilización, plano al que corresponde,

etc. De igual forma, antes del izaje se tendrán listos los marcos para pases e insertos los cuales se guardarán en posición vertical y se marcarán con pintura para una fácil identificación y montaje. Se preverá controles de nivel en la plataforma para colocarlos en su lugar.

“La armadura será transportada desde el almacén hasta el radio de acción de la grúa la cual efectuará el transporte vertical, por medio de jaulas especiales que se suspenden del gancho de la grúa, hasta el lugar de montaje sobre el encofrado deslizante” (Dinescu et al, 1970). La armadura habilitada se colocará temporalmente sobre caballetes de madera ubicadas sobre los yugos (barras soporte), en una cantidad tal que cubra las necesidades de levantamiento de 1 m., por lo que a medida que es empleado, deberá ser repuesto. Antes de iniciar el levantamiento, se colocará la armadura vertical usando varillas cortadas en diferentes longitudes de modo que sus empalmes sean alternados, el fierro vertical se dispondrá hasta en 4 longitudes múltiplos de una varilla, $\frac{1}{2}$ varilla o hasta $\frac{1}{4}$ varilla a fin de evitar tener todos los empalmes en un mismo punto y para que la progresión del molde no gane en tiempo a los fierros; el rendimiento de los operarios fierros determinará en la mayor parte de los casos la velocidad de deslizamiento. En el caso de los silos, se dispondrán varillas verticales de $\frac{1}{2}$ “ de 9, 6 y 4.5 m. colocadas intercaladamente con empalmes por traslape de 60 cm., espaciadas a cada 40 cm. en el silo interior y a 30 cm. en el silo exterior. En el caso del fierro horizontal, tendrán el diámetro de acuerdo a su ubicación y estarán dispuestas de acuerdo al tipo de empalme, sin embargo éstas tendrán que irse colocando a medida que el encofrado vaya subiendo hasta sobrepasar más o menos 10 cm. la altura del molde por lo que se pondrán en el espacio libre de 30 cm. entre el cabezal del yugo y la plataforma de trabajo, es así que el montaje de barras horizontales se hace en condiciones más difíciles que las habituales. La colocación de la armadura horizontal se hará de manera continua atando las barras horizontales a las verticales en todos los puntos de intersección mediante alambre # 16 y con ayuda de un tortol. Se emplearán separadores para mantener la posición de la armadura a distancia, podrán ser platinas que permitan hacer entrar el fierro horizontal y vertical a medida que el encofrado suba o dados de mortero 1: 3 amarradas a la armadura con el recubrimiento libre requerido: 5 cm. para la pared exterior del silo exterior y 3 cm. en ambas caras del silo interior así como en la cara interior del fuste exterior.

Sobre la plataforma y para el servicio del capataz de fierros, deberán existir los planos de obra suficientemente claros; de igual forma el personal en cada turno se dividirá en varias cuadrillas destinándolos a una zona de la cual serán responsables.

Vaciado del Concreto

El concreto empleado para la construcción de los fustes será concreto prefabricado $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con un tamaño máximo de agregado $\frac{3}{4}$ "; no se permitirá el uso de plastificantes pues retrasan su endurecimiento durante las primeras horas, ni aceleradores de fragua que contengan cloruro de calcio Cl_2Ca pues pueden provocar corrosión de la armadura y originar eflorescencias. Aditivos retardadores podrán emplearse en caso hubiera necesidad de aumentar el tiempo de fragua. Para la dosificación de concreto el fabricante deberá respetar las cantidades máximas de agua, cemento y arena para reducir las fisuras. Antes de colocar el concreto en el molde se colocará una capa de mortero de cemento con adición de material hidrófugo de 5 cm a 10 cm. de espesor en todo el molde sobre el fondo del encofrado, para continuar luego con el vaciado de concreto. Éste se realizará con ayuda de cubas metálicas de 0.4 a 0.8 m^3 donde descargarán los camiones concreteros y serán elevados con la grúa torre donde descargarán el concreto sobre la plataforma superior del encofrado en un sólo punto, es preferible que éste sea sobre los entablados encima de la propia viga a fin de no exigir los paneles en demasía. El transporte horizontal se realizará con carretillas o buggies, y se introducirá en el molde con ayuda de palas; si durante el transporte hubiera segregaciones, se volverá a amasar el concreto antes de verterlo. El orden de introducción del concreto en las paredes será modificado al menos cuatro veces por turno de trabajo a fin de que no se produzcan desplazamientos del encofrado por efecto de coriolis en el plano horizontal; por esta misma razón el sentido de circulación de los obreros también será cambiado constantemente. Previo al vaciado se verificará la correcta situación de las armaduras así como que la superficie interna de los encofrados y que las barras de refuerzo estén limpias y libres de mortero o cualquier sustancia perjudicial para el concreto. A continuación se procederá a llenar el encofrado en capas de 20 cm. en todo el contorno de la construcción, comenzando el vaciado de concreto en la mañana para que el encofrado arranque de día y se compactará luego de colocada cada capa por medio de vibradores de inmersión, antes de que comience el fraguado de la tanda precedente o cuando esté empezando, ésto para conseguir una adherencia perfecta con la capa anterior y garantizar una unión monolítica sin juntas horizontales y sin aspecto de concreto segregado. Los vibradores no deberán revibrar las capas inferiores; caso contrario se diseñará el molde aplicando fórmulas para encofrados ortodoxos. El espesor de cada capa será controlado con varillas de control que se perderán en el concreto con niveles pintados cada 10 cm. o menos, estas varillas de control también nos indicará el momento en que se colocan los otros elementos. "Para

la selección de los vibradores deberá considerarse que deberán ser por lo menos 3 cm. menores que la distancia libre entre armaduras, para espesores de pared de 25 y 35 cm., serán suficiente vibradores con dimensiones de cabeza 40-50 mm. y con una zona de influencia de 20 a 27 cm. aproximadamente” (Dinescu et al, 1970); no se compactará con vibradores de menos de 5,000 a 6,000 vibraciones por minuto. La introducción y extracción del vibrador en el concreto se hará lentamente de manera que entre algunos centímetros en la capa precedente y se separen los agregados y se forme una película de mortero, con un tiempo de vibración de entre 10 a 25 segundos y con una distancia entre dos puntos sucesivos inferior al radio de acción del vibrador. Se tendrá cuidado que los vibradores no choquen con la armadura o encofrado a fin de que no se rompa la adherencia; para el concreto de revestimiento entre la armadura y encofrado, la compactación se hará con barras planas de 5 a 6 mm de espesor para obtener una película de mortero (Dinescu et al, 1970). De igual forma se golpeará en los cordones con martillos de madera para mejorar la compactación, especialmente donde la armadura sea densa. Es probable que luego del vibrado de concreto aparezca agua sobre su superficie debido al fenómeno de exudación; esto no es perjudicial y se elimina por el propio encofrado que está abierto y con cánulas especiales cuando ésta suba antes de verter la tanda siguiente. La colocación de concreto en el molde continuará hasta llenar el molde 60 a 90 cm., esta operación no debe tomar más de 3 a 4 horas, que es el tiempo de fraguado inicial del concreto pues después de este tiempo el molde deberá subir indefectiblemente.

Previo al izaje del encofrado deslizante se verificará que se cuente con las siguientes herramientas:

- palas para el llenado
- picos para concreto y mortero
- tolvas metálicas de 0.4 a 0.8 m³
- paletas de revocar para albañiles
- carretillas de neumáticos
- cubas
- brochas y escobas
- llave inglesa cuando se requiera para ensamblar barras de apoyo
- picos
- martillos de cabeza puntiaguda para liberar la armadura del concreto
- barras de acero de trepar
- jaulas de acero para armadura
- termómetros para medir la temperatura del aire y concreto

- gatos de mano (4 a 5)
- vibradores (2 como mínimo)
- nivel
- niveles de burbuja de aire
- teodolito y nivel con su mira
- cinta métrica
- tortol

A las 2 ½ horas de iniciada la colocación del concreto en el molde se procederá al desmontaje de los apoyos suplementarios así como los listones de obturación, en caso el concreto esté duro se pondrán en marcha las bombas de instalación para iniciar el despegue y para producir el desprendimiento de la primera capa de concreto, la cual está en proceso de fragua inicial; bloqueándolas a una presión de 60 atm.. “Se verificará la consistencia del concreto bajo el encofrado introduciendo una varilla de 5/8 “ y midiendo su penetración y/o verificando con el dedo que no deje huella en el concreto” (Gallegos, 1996). Finalizada la primera elevación se verificará que el encofrado no ceda y que no escape el concreto; se verificará que todos los gatos hayan trabajado efectivamente, que no haya habido fugas de aceite en los gatos ni conductos y que se hayan elevado todos los gatos observando el nivel de agua respecto al clavo de referencia; en caso el despegue no haya sido uniforme, se identificará la causa. Se verificará el grado de endurecimiento del concreto, si no estuviere suficientemente duro, se esperará hasta su endurecimiento, caso contrario se desbloquearán los gatos y se harán nuevas elevaciones con intervalos de 15 minutos bloqueando los gatos nuevamente para hacer nuevos controles y verificar su correcto desempeño. A continuación se desbloquearán los gatos y se procederá a accionar las bombas a la velocidad prevista por lo que el técnico que comanda el sistema, programará un timer para que periódicamente arranque la central de fuerzas, de esta forma la elevación se automatizará adaptando a la bomba de aceite un dispositivo automático de puesta en marcha y parada, que la pone en funcionamiento cada intervalo de tiempo. A medida que el encofrado se eleve se irán colocando los fierros horizontales y verticales, los insertos a sus cotas respectivas y se ensamblarán las barras de apoyo cada 3 m. aproximadamente con ayuda de un nivel de mano, atornillándolos hasta el fondo de los agujeros roscados, para ello previamente se harán trazas en las barras cada 30 cm. a fin de subir continuamente las arandelas de jebe a los niveles previsto. Asimismo se irán colocando las tandas de concreto en capas de 20 cm de altura aproximadamente dejando siempre un espacio de unos 5 cm. a la parte superior del entablado para

no producir rotura del concreto a causa de un relleno excesivo del encofrado. Los mecánicos que controlan el nivel irán verificando su horizontalidad cada 2 a 5 elevaciones; dado que no se usarán topes, se verificarán posibles desplomes observando el nivel de agua respecto al clavo de referencia, observando que todos los gatos alcancen las arandelas al mismo tiempo, verificando la horizontalidad de las cabezas de yugos en todo momento así como la verticalidad de las barras de apoyo. En caso haya algún retraso de un gato frente a los demás, se bloquearán las bombas y se llevará el gato retrasado al mismo nivel que las restantes soltando la tuerca que libera la mordaza y nivelándola a palanca elevando la presión a unas 100 atm. Las tolerancias en desnivelaciones permitidas serán de 1 a ± 2 cm. a condición de que no tengan carácter permanente.

Una vez que el encofrado haya alcanzado un metro, se harán agujeros de 30 a 40 mm en dirección de cada barra cada 10 m. de altura y se cubrirán con un tapón de madera o papel para evitar su relleno con mortero o piedras, esto servirá para la inyección posterior del mortero en los huecos dejados por las barras de apoyo luego de su extracción y con el fin de evitar la concentración de esfuerzos y fisuras (Dinescu et al, 1970). En todo momento deberá cuidarse de tener la plataforma superior limpia baldeándola y regándola en caso hiciera calor para evitar pérdida de humedad.

Para el control de nivel se fijará sobre la torre de acceso una mira graduada en metros y decímetros de tablas cepilladas fijando sobre el terreno la cota cero y marcando con pintura los niveles importantes que indiquen la presencia de vanos a fin de colocar en su lugar exacto las ventanas, insertos o anclajes. También se registrará el nivel por medio de una cinta métrica la cual se irá desenrollando a medida que el encofrado se eleve.

Después de haber deslizado el encofrado unos 3 a 4 m. se procederá al montaje de los andamios inferiores que aún no se hubieran colocado (andamios inferiores del silo interior) conectando los marcos, los cuales han sido acoplados con anterioridad, a los cordones de los encofrados y colocando luego los entarimados y barandas. Las plataformas inferiores se colgarán en posición vertical y estarán como mínimo a 5 cm. de la cara de las paredes de concreto para evitar rozarlas; toda esta operación se hará durante la elevación del encofrado.

Finalizado el montaje de los andamios, se descubrirá en la plataforma superior la trampilla (manhole) y se introducirá una escalera de acceso ya sea de metal o

madera para permitir el ingreso de los albañiles. Como primera medida, protegerán al concreto contra el calor y viento recubriendo el espacio entre las plataformas superior e inferior con lonas, hojas de polietileno, mantas de arpillera de plástico, etc.; esto también es efectivo para evitar la sensación de altura en los obreros (quitamiedos), asimismo se controlará que no haya deterioros en las cerchas. A continuación se hará la inspección del concreto a su salida del encofrado circulando por este andamio para el control de endurecimiento y para dar los retoques en la pared separando las partes que presenten segregaciones y reemplazándolo por concreto sano así como para el acabado mediante brochas o yute; esto se hará al menos cada 2 horas por el jefe de turno, teniendo en cuenta que todo defecto bien arreglado no constituye un punto débil en la construcción.



Foto 3.9 Protección del andamio colgante con manta

Se procederá al curado, por medio de una membrana selladora desvaneciente, a fin de reducir la contracción por secado y asegurar su endurecimiento. Se evitará almacenar materiales sobre los andamios a fin de mantener en equilibrio el encofrado deslizante, sin embargo en caso haya un momento desequilibrado en los yugos, podrán nivelarse colgando sacos de arena para hacer un contrapeso.

A fin de controlar la nivelación vertical se colocarán sobre la plataforma inferior cuatro tambores de madera de 15 a 20 cm. de diámetro en dos ejes rectangulares, diametralmente opuestos y a la misma distancia del centro, sobre la cual se enrollará un hilo de hierro de 1 a 1.5 mm de diámetro con un peso atado en su extremo de tal forma que el alambre se vaya soltando a la par que sube el encofrado. Las plomadas se ubicarán en puntos interiores de la obra y se trazarán puntos de referencia sobre las paredes de la construcción para comprobar su verticalidad midiendo la desviación de las plomadas una vez durante cada turno de trabajo o de metro en metro. Esta verificación también puede hacerse con ayuda de un teodolito desde dos estaciones.

Para la ejecución de los destajes para alojar las vigas metálicas, una vez que el nivel del fuste interior haya llegado a la cota +38.30 m. se replantearán sus posiciones sobre la plataforma superior y se introducirán marcos de madera de 35 cm. x 50 cm, el espesor de los marcos será ligeramente menor al espesor del fuste de modo que no sean arrastrados mientras se eleve el encofrado y con una pendiente de 10 a 15 % para facilitar su extracción. Para mantenerlos en su posición correcta, se colocarán elementos de ayuda-guía sujetas a la plataforma para que a medida que el molde suba, los marcos permanezcan en su lugar, de igual manera se amarrarán a los fierros verticales del muro. La posición correcta de los marcos será vigilada y corregida durante toda la duración del deslizamiento y estarán bien impregnados de aceite antes de cada montaje. Se tratará que los destajes no sean atravesados por las barras de apoyo ni gatos, sin embargo en caso ello no sea posible, se formarán pequeños pilares de concreto con espesor de la pared y de 25 a 30 cm. de ancho en unos 80 a 90 cm. de altura alrededor de las barras de apoyo a fin de arriostrarlas y evitar que pandeen; esto considerando que la longitud crítica de pandeo para una barra de 1" es de 60 cm aproximadamente, posteriormente los pilares serán demolidos. Otra forma de arriostramiento en las barras serán con marcos de madera y piezas de separación. "Para luces libres más grandes se podrán arriostrar las barras por medio de puntales considerando toman conservadoramente 0.02 veces la carga a compresión" (Mc Cormack, 1996)

Finalizada la jornada de trabajo, bajarán las personas de la plataforma de acuerdo a su especialidad: la mitad de albañiles y la mitad de carpinteros. Los gateros deberán estar coordinados entre sí para transmitir las eventualidades del caso, los desplomes e incidentes de turno.

Todo lo anteriormente expuesto será aplicable durante el izaje del silo exterior hasta su cota final así como en el levantamiento del silo interior cuando ambos fustes se eleven simultáneamente. "Dada la apretada sucesión de las diferentes operaciones, esto puede conducir a la rutina o bien a pensar que todos conocen perfectamente el procedimiento, sin embargo debe tenerse claro las medidas a tomar en caso surgiera algún inconveniente o desperfecto como los que se presentan a continuación, esta lista no es limitativa mas sí indicativa" (Dinescu et al, 1970):

- *Avería en la instalación eléctrica o falta de alimentación:* en caso el tiempo transcurrido sea mayor al permitido, se elevarán los gatos con una bomba de

mano hasta que el encofrado se separe del concreto.

- *Avería de la grúa o montacarga:* se usará equipo de reserva, en caso no se pueda suministrar concreto, se continuará con la elevación hasta que el encofrado se separe del concreto en una zona armada, después de lo cual se detendrá el deslizamiento.
- *Avería de una bomba de aceite:* Se conectará la segunda bomba sirviéndose del circuito que une las dos bombas entre sí.
- *Avería de un gato:* Transmitir la carga a los gatos vecinos colocando una viga sobre las traviesas y reemplazarlo.
- *Pandeo de la barra de apoyo:* Puede deberse a un concreto demasiado blando, exceso de carga debido a que gatos vecinos no trabajan, etc..
- *Aparecen fisuras bajo el encofrado:* Puede deberse a que el concreto es arrastrado por falta inclinación del encofrado o a que la armadura está enganchada.
- *Concreto sale por debajo del encofrado:* Debido a una cantidad excesiva de agua en la forma, compactación inadecuada, velocidad de deslizamiento excesivo o una temperatura muy baja.
- *Pérdida de aceite por tubería dañada:* Se dispondrá de elementos de protección al concreto y se quitarán los rastros de grasa en el fierro corrugado para no perder adherencia.

Secuencia fotográfica del llenado del encofrado



Foto 3.10 Se descarga el concreto sobre la plataforma



Foto 3.11 El concreto es esparcido dentro del encofrado deslizante

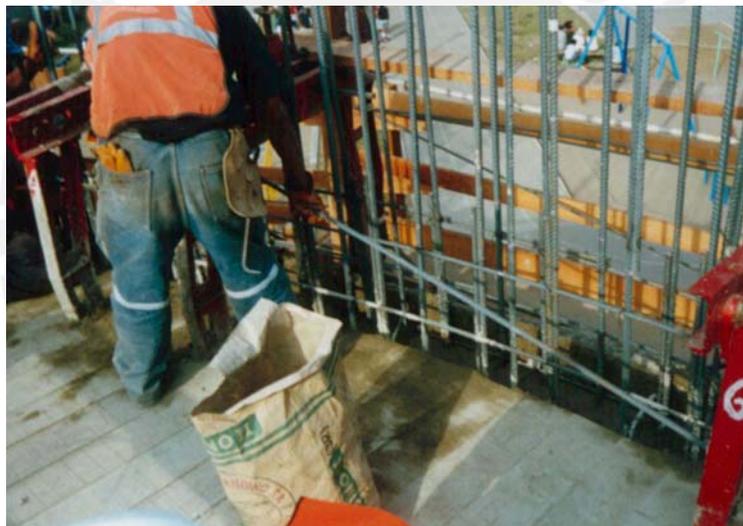


Foto 3.12 El fierro es colocado en el espacio entre el cabezal del yugo y la plataforma



Foto 3.13 Se realizan los retoques desde el andamio inferior

3) Desmontaje del encofrado deslizante

Para el desmontaje del encofrado deslizante una alternativa es continuar con el relleno de concreto hasta la cota 38.80 m. continuando las elevaciones en vacío hasta que el encofrado esté completamente separado del concreto unos 10 a 15 cm. por encima, luego de lo cual se bloquearán los gatos; para evitar que las barras no pandeen se formarán pequeños pilares de concreto alrededor de las barras con espesor del muro y de unos 25 a 30 cm. de anchura. Asimismo para evitar que las fundas se bloqueen, se girarán constantemente las barras. A continuación se hará el traspaso del peso del encofrado a la pared por medio de montantes, las cuales se introducirán entre los yugos y el muro luego de lo cual se desbloquearán las bombas descendiendo los gatos unos 3 a 8 mm. pero sobrepasando el extremo de las paredes constituyendo una separación total. Previamente se aligerará la carga sobre el encofrado liberándolo de todas las partes encima tales como las instalaciones eléctricas, instalaciones de nivel, entramados soporte, barras de soporte, guías para armadura, etc. así como todos los materiales sobre la plataforma de trabajo incluyendo carretillas, palas, picos y demás herramientas. A causa de la caída de los gatos sobre las barras de apoyo, el peso del encofrado ya no actúa sobre las barras sino sobre las montantes permitiendo liberar los gatos y uniendo el encofrado a la armadura a fin de que el viento no la afecte. Otra alternativa que resulta ingeniosa y es la que de hecho se empleará debido a que permite utilizar la plataforma entre fustes sin mayor modificación mas que retirar las montantes de yugos y cubrir los huecos dejados por éstos, es elevar el molde en vacío los 50 cm. finales, antes de llegar a la cota 38.80 m., y perforar las dos caras del molde cada metro en su perímetro atravesándoles un fierro cada cierta distancia, luego de lo cual se vacía el concreto en estos 50 cm. (Bragagnini et al, 1999). De esta forma el molde queda clavado y se pueden usar las cerchas como apoyo del encofrado de la losa. A continuación los gatos serán desenganchados de los yugos y se retirarán manualmente subiéndolos a lo largo de las barras; en caso ciertos gatos permanecieran bloqueados sobre las barras de apoyo, se elevará localmente el encofrado con ayuda de un gato de mano para liberar los gatos. Otra forma de extraer las barras es utilizando los mismos gatos, para ello estos son extraídos y nuevamente introducidos pero en sentido inverso y apoyados sobre el concreto. De esta forma se ejerce sobre ellas la acción de la bomba para extraerlas de la pared mecánicamente; esto tiene la ventaja sobre la extracción manual que se realiza simultáneamente. Utilizando los gatos en sentido inverso las barras de apoyo serán elevadas para ser desmontadas por trozos y a medida que sobrepasan el nivel de la pared serán desenroscados los vástagos y se colocarán en cajas limpiándolos y llenando sus agujeros con vaselina luego de lo cual se limpiarán y

embalarán en cajas. “Los huecos dejados en la pared serán lavados y humedecidos, luego de lo cual se inyectará desde abajo y en cada hueco dejado por las barras de apoyo, un mortero de cemento y arena fina 1:1 por medio de una bomba de inyección, verificando que el mortero inyectado llegue a los agujeros de control espaciados a cada 10 m. dejados durante el deslizamiento” (Dinescu et al, 1970). La inyección del mortero continuará hasta que fluya sin burbujas de aire por la parte superior del hueco luego de lo cual se cerrarán los huecos con tapones. A continuación se desconectarán los tubos flexibles de presión así como las bombas electro hidráulicas y se vaciará el aceite. Asimismo se procederá al desmontaje del encofrado el cual se realizará necesariamente durante el día. De igual manera se dejarán durante el deslizamiento los destajes de 35 cm x 50 cm donde se apoyarán las vigas metálicas posteriormente y se dejarán insertos dos pernos de 1” para la posterior fijación de las vigas

Ejecución del forjado

La ejecución del forjado mixto de estructura metálica y losa de concreto armado colocado in situ, exige la confección de un encofrado a gran altura, razón por la cual se ha previsto que la plataforma inferior del encofrado deslizante, funcione como plataforma de trabajo; en el caso de la plataforma entre fustes no hay mayor modificación y los andamios colgantes pueden permanecer sujetas de las cerchas aunque también pueden colgarse de los fustes en caso se hayan dejado bridas de soporte durante la ejecución de los fustes. Dado que los andamios exteriores ya no serán de uso, estos podrán ser retirados con ayuda de la grúa torre. Se empezará el desmontaje de la plataforma de trabajo del silo interior transportando y almacenando los paneles que constituyen los entarimados a la plataforma contigua ya que estos entablados podrán ser utilizados nuevamente para el encofrado de la losa de cierre; se comenzará por el punto más alejado de la torre de acceso. A continuación se liberarán los pernos de sujeción que fijan las vigas W 18 x 35 a los ángulos laterales y con ayuda de la grúa torre serán transportados al suelo de modo que sean cortados y recortados mediante corte con oxígeno a sus longitudes definitivas de acuerdo al plano de losa de cierre. Las vigas W30x90 aún apoyadas sobre las cerchas se llevarán a sus alojamientos definitivos sobre el fuste del silo por lo que se deberán recortar las cerchas y entablados frente a los destajes a fin de que no interrumpan la prolongación de las vigas; previamente serán retirados los marcos y se preparará una cama de mortero nivelador 1: 3 de 25 mm de espesor. Las vigas se sujetarán de sus extremos y con ayuda de la grúa torre se desplazarán lateralmente hacia el centro del silo de modo que puedan moverse en la vertical sin encontrar obstrucción alguna luego de lo

cual se desplazarán lateralmente hasta su posición definitiva sobre el fuste y se anclarán a los pernos dejados en la pared fijándolas con tuercas. Este procedimiento se seguirá en las cuatro vigas iniciando con las vigas interiores y se transportarán del suelo las dos vigas restantes.

Debido a que los encofrados deslizantes se encuentran ahora clavados a las paredes de los fustes, se hará el desmontaje de los caballetes a fin de retirar las montantes de yugos que interrumpen el vaciado del techo por lo que se retirarán los tornillos que fijan las montantes exteriores a las traviesas de los yugos, de esta forma será posible descender tanto los cabezales como las piernas. Debido a que no se desea que los perfiles metálicos queden embebidos en el concreto sino que se apoye el forjado sobre ellas, se soldarán sobre estos y situados sobre las alas superiores de las vigas, unos sustentadores de cerco cada 180 cm. los cuales consisten en unos tirafondos atornillados a tuercas soldadas al cerco metálico de modo de soportar los largueros. La fijación entre el tirafondo y el encofrado se consigue por medio de arandelas planas, en donde se montarán dos largueros de 2" x 6" a cada lado de la viga a fin de que sobre ellas descansen las viguetas transversales de 4"x6" tal como se muestra a continuación; las tuercas deberán ser engrasadas antes de colocar.

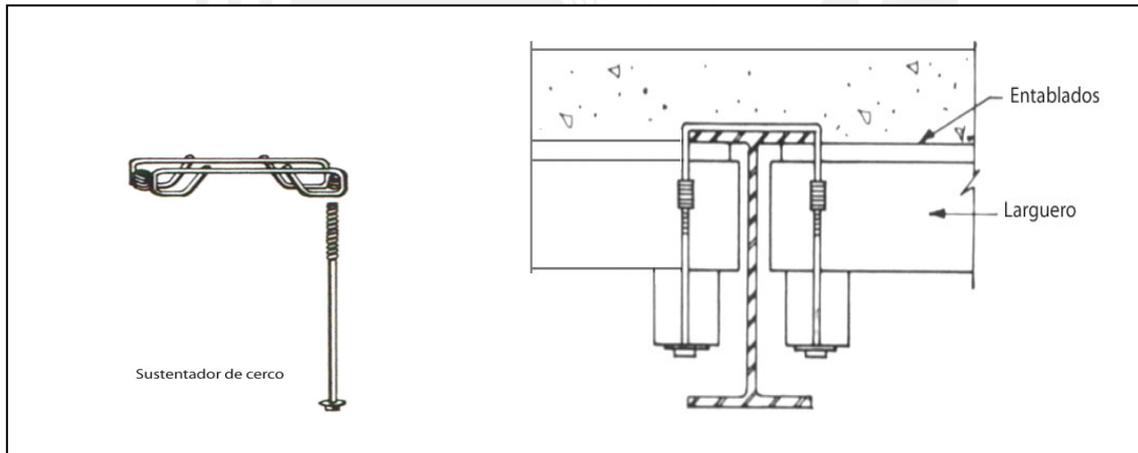


Figura 3.14 Sustentadores de cerco



Foto 3.15 Colocación de sustentadores de cerco



Foto 3.16 Colocación de largueros

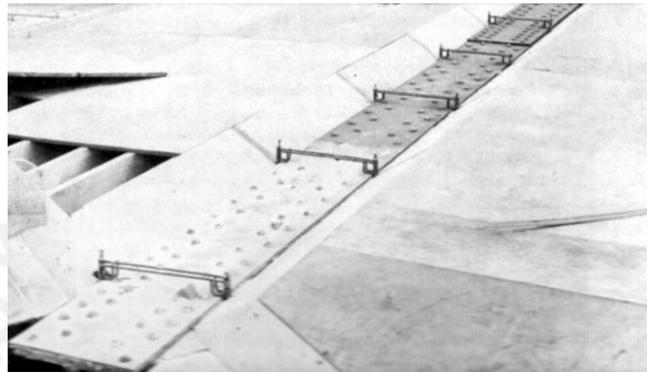


Foto 3.17 Encofrado de losa de cierre

En el caso de los largueros en contacto con el fuste, estos se apoyarán sobre las cerchas. De igual manera se soldarán los conectores de corte, los cuales consisten en ángulos de 2"x2"x3/16"x4", a la viga cada 60 cm., esta operación bien puede hacerse sobre el suelo antes de elevar las vigas a la plataforma de trabajo de modo de facilitar el proceso de soldadura así como su montaje. El electrodo a usar en la soldadura será de la clase AWS E6010, esto significa que el electrodo tendrá una resistencia mínima a la tracción del metal de aporte de 60 klb/ pulg², que el electrodo operará satisfactoriamente independientemente de su posición y que tiene un revestimiento celulósico de penetración profunda el cual protege al arco eléctrico; la corriente para fundir la varilla será continua. Se verificará que las soldaduras no presenten en sus cordones ranuras de penetración, escorias, inclusiones de poros, cráteres ni grietas en la transición de soldadura por lo que se tendrá en cuenta la densidad de corriente para soldar, la posición empinada del electrodo, la velocidad en la soldadura, la longitud del arco voltaico, el porcentaje de humedad del electrodo, etc.. Es importante que el electrodo esté revestido entre otras cosas para estabilizar el arco voltaico y para que al fundirse el revestimiento forme una campana de gas protector y de escoria que proteja al cordón de soldadura. A continuación se elevarán las vigas W 18x35 las cuales ya deben haber sido recortadas a fin que sus alas superiores queden enrasadas con las de las vigas W 30x90. Éstas se apoyarán sobre los ángulos de asiento fijados previamente al alma de la viga de modo que se puedan soldar los

cordones de 3/16", esta soldadura se realiza en posición vertical y sobre cabeza. Una vez que las vigas estén bien fijadas entre sí se podrán retirar los ángulos de asiento pero dejando los pernos con unas placas extras en alma de la viga W 30x 90 para reforzar la viga alrededor de los agujeros contra el posible pandeo de ésta. Cabe resaltar que si bien la perforación de agujeros en la viga ciertamente no la hace más resistente y sí existe la posibilidad de que la debilite un poco, el cortar un agujero en el alma de una viga no reduce notablemente su módulo de sección o su momento resistente (Mc Cormack, 1996), sin embargo aun así se ha optado por reforzar la viga con estas placas extras. A continuación se montarán los paneles prefabricados apoyados sobre los largueros cuidando estén al mismo nivel que en las vigas. Los paneles situados en los bordes serán recortados con la sierra de cinta al radio requerido a fin de que tengan el borde circular y para permitir el ingreso a las plataformas inferiores, se dejarán los huecos respectivos así como las demás aberturas indicados en el plano. Para ello se prepararán los marcos de madera con las medidas respectivas, recortando las piezas que lo conforman con la sierra circular clavándolas luego entre sí; posteriormente serán elevadas a la plataforma con la grúa torre, para lo cual previamente se replantearán sus posiciones sobre la plataforma y se marcarán visiblemente. En las paredes de los fustes que soportarán el forjado así como en los destajes para las vigas deberá desalojarse todo concreto suelto, no adherente o arrancado, se encofrarán los laterales de los alojamientos así como el friso con triplay de 8 mm y se empezará a colocar la armadura después de haber lavado el encofrado consistiendo en fierros de 3/8 " colocados en doble capa. De igual manera se hará el reforzamiento en los bordes de huecos y para garantizar el recubrimiento libre de 3 cm a las barras, previamente se prepararán dados de mortero de este espesor sobre los cuales se apoyarán las barras. Antes de colocarse el concreto, deberá humedecerse la plataforma para que no absorba agua de la mezcla por lo menos durante 12 horas y aceitarse mediante brocha o spray para que protejan el encofrado y ayuden el desencofrado. De igual forma se dejarán nervios de fierro corrugado para que posteriormente sirvan para colgar andamios y desencofrar los techos de los silos. El vaciado de concreto para la losa se hará por medio de cubas aprovechando la disponibilidad de la grúa torre y se comenzará la colocación del concreto por el punto más alejado de la torre de acceso de la manera ya explicada; previamente se hará la prueba de slump y se sacarán probetas de concreto para controlar su resistencia. La losa permanecerá encofrada hasta que pueda soportar su peso propio así como las cargas vivas de la construcción. Las especificaciones indican hasta que tengan una resistencia mínima de 175 kg/cm², para medir la resistencia se podrán romper cilindros mantenidos en las mismas condiciones que el concreto en obra o usar algún método no destructivo como el esclerómetro. Sin embargo para

fondos de losas de menos de 3 m. de luz cuando la carga viva es menor que la carga muerta el desencofrado puede realizarse a los 4 días. Éste se realizará paulatinamente para que el concreto tome las cargas gradualmente y sin impactos. El procedimiento consistirá en pasar cables a través de las aberturas y sujetas a los nervios para la suspensión de andamios para desde allí desmontar los tirafondos cuyas tuercas se habían engrasado antes de colocar, para luego quitar los largueros y paneles. Debido a que se han dejado aberturas en la losa de cierre, algunas con dimensiones de 80 cm. x 80 cm., tanto los paneles como los andamios se subirán a la losa, para posteriormente descenderlos al suelo con ayuda de la grúa torre. A continuación se colocará sobre la losa la geomembrana y sobre ésta la capa de concreto de 5 cm. de espesor.

El desmontaje de los encofrados deslizantes comenzará con los pernos de ensamble de los paneles, esta operación se hace sobre las plataformas inferiores. Dado que la grúa tiene suficiente altura de elevación en el gancho y cubre toda la superficie de la construcción el desmontaje podrá hacerse por subconjuntos por lo que se montarán sobre los paneles los dispositivos de sujeción; es necesario que la grúa no eleve los paneles más que en la vertical del cable que sostiene el gancho a fin de no poner en peligro su estabilidad. Una vez en el suelo se controlará el estado de los paneles del encofrado, se revisarán los clavos y se reemplazarán las cerchas deterioradas; asimismo se repararán los entablados que presenten virutas o mermas y se limpiarán y engrasarán los tirantes y tornillos.

4) Cálculo y Diseño

Propiedades de la Madera

Triplay

Resistencia a la flexión	$\sigma = 90 \text{ kg/cm}^2$
Resistencia al corte	$\tau = 4 \text{ kg/cm}^2$
Resistencia compresión perpendicular	$C_{\perp} = 12 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de Elasticidad	$E = 84\,500 \text{ kg/cm}^2$

Madera Tornillo

Resistencia a la flexión	$\sigma = 100 \text{ kg/cm}^2 + 10\% \text{ acción conjunto}$
Resistencia al corte	$\tau = 8 \text{ kg/cm}^2 + 10\% \text{ acción conjunto}$
Resistencia compresión perpendicular	$C_{\perp} = 15 \text{ kg/cm}^2$
Resistencia compresión paralela	$C_{//} = 80 \text{ kg/cm}^2$
Resistencia tracción	$T = 75 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de Elasticidad	$E = 55\,000 \text{ kg/cm}^2$ $90\,000 \text{ kg/cm}^2 \text{ acción conjunto}$

Se considera hay acción de conjunto en entablados y viguetas

Proyecto de paneles para encofrado de 2.40 m largo x 0.60 m alto de la pared lateral de la tolva

El muro tiene un ancho de 0.85 m. y una altura de 7.15 m. El encofrado se hará con la mitad del perímetro por vez en tres alturas de 2.40 m. con paneles de 19 mm.

$$R = \frac{8 \text{ m}^3/\text{h}}{\pi(10.35^2 - 9.5^2)/2} = 0.30 \text{ m/hora} \quad \text{esto da una duración de llenado de 8 horas}$$

Para calcular la presión actuante sobre el encofrado del muro usaremos la siguiente expresión del ACI con $R < 2 \text{ m/h}$.

$$P_{\max} = 732 + \frac{720\,000 R}{9T + 160}$$

R: Velocidad de llenado, m/ hr

T: temperatura del concreto 19.6 °C

$$P_{\max} = 732 + \frac{720\,000 \times 0.30}{9 \times 19.6 + 160} = 1375 \text{ kg/m}^2$$

Si bien esta fórmula no toma en cuenta otras consideraciones que sí afectan el valor de la presión desarrollada por el concreto tales como su dosificación, su consistencia, la influencia de las formas y dimensiones del encofrado así como de las armaduras, el peso del concreto y la altura sobre el cual es vertido, usaremos esta fórmula a falta de una mejor.

Separación entre barros

Luz máxima por flexión

$$M_{\text{act}} = \frac{\omega L^2}{10} = \frac{8.25 \times L^2}{10} = 0.825 L^2 \quad (1)$$

$$M_{\text{resist}} = \frac{\sigma b d^2}{6} = \frac{90 \times 60 \times 1.9^2}{6} \quad (2) \quad \text{Igualando 1 con 2 obtenemos } L = 63 \text{ cm.}$$

Luz máxima por corte

$$V_{\text{act}} = \frac{5\omega L}{8} = \frac{5 \times 8.25 \times L}{8} = 5.17 L \quad (1)$$

$$V_{\text{resist}} = \frac{\tau \times A}{1.5} = \frac{4 \times 60 \times 1.9}{1.5} = 304 \quad (2) \quad \text{Igualando 1 con 2 } L = 59 \text{ cm.}$$

Luz máxima por flecha

$$\delta = \frac{5\omega L^4}{384EI} = \frac{5 \times 8.25 \times L^4}{384 \times 84\,500 \times 34.3} = 3.71 \times 10^{-8} L^4 \quad (1)$$

$$\delta_{\max} = \frac{L}{270} \quad (2) \quad \text{Igualando 1 con 2 obtenemos } L = 46 \text{ cm.}$$

Colocaremos los barros con una separación de 40 cm entre ejes.

Escuadría de barros

Los largueros están a 60 cm formando los marcos de los paneles.

Flexión

$$\varpi = 1375 \text{ kg/m}^2 \times 0.4 \text{ m} = 550 \text{ kg/m}$$

$$M_{\text{act}} = \frac{\varpi L^2}{10} = \frac{5.5 \times 60^2}{10} = 2016 \text{ kg.cm}$$

$$M_{\text{resist}} = \frac{\sigma b d^2}{6} = \frac{110 b d^2}{6}$$

Usamos barros de 2" x 3" $M_{\text{resist}} = 5408 \text{ kg.cm}$

Corte

$$V_{\text{act}} = \frac{5\varpi L}{8} = \frac{5 \times 5.5 \times 60}{8} = 206 \text{ kg}$$

$$V_{\text{resist}} = \frac{\tau \times A}{1.5} = \frac{8.8 \times 5.08 \times 7.62}{1.5} = 227 \text{ kg}$$

Flecha

$$\delta = \frac{5\varpi L^4}{384EI} = \frac{5 \times 5.5 \times 60^4}{384 \times 900000 \times 187} = 0.06 \text{ cm}$$

$$\delta_{\text{max}} = \frac{L}{270} = 0.22 \text{ cm}$$

Separación entre tirantes

Considerando una capacidad de carga de los tirantes de 1350 kg, la máxima separación está dado por:

$$\frac{1350 \text{ kg}}{1375 \text{ kg/m}^2 \times 0.6 \text{ m}} = 1.63 \text{ m}$$

Colocamos un tirante cada 90 cm

Escuadría de los largueros

Los largueros se forman por dos piezas de madera conformando cada uno los marcos de los paneles superior e inferior.

$$\varpi = 1375 \text{ kg/m}^2 \times 0.6 \text{ m} = 825 \text{ kg/m}$$

$$M_{\text{act}} = \frac{\varpi L^2}{10} = \frac{8.25 \times 90^2}{10} = 6683 \text{ kg.cm}$$

$$M_{\text{resist}} = \frac{\sigma b d^2}{6} = \frac{110 b d^2}{6}$$

Usaremos 2 piezas de 2" x 4", esto da $M_{\text{resist}} = 19227 \text{ kg.cm}$

Corte

$$V_{\text{act}} = \frac{5\varpi L}{8} = \frac{5 \times 8.25 \times 90}{8} = 464 \text{ kg}$$

$$V_{\text{resist}} = \frac{\tau \times A}{1.5} = \frac{8 \times 10.16 \times 10.16}{1.5} = 550 \text{ kg}$$

Flecha

$$\delta = \frac{5\varpi L^4}{384EI} = \frac{5 \times 8.25 \times 90^4}{384 \times 55000 \times 444} = 0.29 \text{ cm}$$

$$\delta_{\text{max}} = \frac{L}{270} = 0.37 \text{ cm}$$

Si bien es suficiente utilizar dos piezas de 2"x4", se emplearán piezas de 2"x 6" (ver cálculo del encofrado de la losa de cierre y de la plataforma de trabajo) para reutilizar los paneles.

Clavos de unión entre largueros y barrotes

La fuerza total que el concreto ejerce sobre los barrotes es $1375 \text{ kg/m}^2 \times (0.6 \text{ m} \times 0.4 \text{ m}) = 330 \text{ kg}$; la unión de los barrotes al marco se realiza mediante clavos. La carga lateral de un clavo de 89 mm y 4.5 mm de diámetro es 44 kg., sin embargo dado que la punta no penetra en los barrotes 11d ($11 \times 4.5 \text{ mm} = 50 \text{ mm}$) que exige el reglamento sino sólo 38 mm se modifica a $0.76 \times 44 \text{ kg} = 33 \text{ kg}$ luego se requieren $330/33 = 10$ clavos. Colocaremos 10 clavos de $3 \frac{1}{2}$ ", 5 en el extremo superior y 5 en el inferior de cada barrote.

Cálculo Encofrado losa de cierre

Metrado de cargas

Espesor de losa 20 cm

Sobrecarga	250 kg/ m ²
Carga Total	0.20 m x 2400 kg m ³
	<u>480 kg/ m²</u>
	730 kg/ m ²

Separación entre viguetas

Usaremos Triplay 19 mm y consideramos ancho tributario 100 cm.

Luz máxima por flexión

$$M_{\text{act}} = \frac{\omega L^2}{10} = \frac{7.30 \times L^2}{10} = 0.73L^2 \quad (1)$$

$$M_{\text{resist}} = \frac{\sigma b d^2}{6} = \frac{90 \times 100 \times 1.9^2}{6} \quad (2) \quad \text{Igualando 1 con 2 obtenemos } L = 86 \text{ cm.}$$

Luz máxima por corte

$$V_{\text{act}} = \frac{5\omega L}{8} = \frac{5 \times 7.30 \times L}{8} = 4.56L \quad (1)$$

$$V_{\text{resist}} = \frac{\tau \times A}{1.5} = \frac{4 \times 100 \times 1.9}{1.5} = 506.67 \quad (2) \quad \text{Igualando 1 con 2 } L = 111 \text{ cm.}$$

Luz máxima por flecha

$$\delta = \frac{\omega L^4}{185EI} = \frac{7.30 \times L^4}{185 \times 84500 \times 57.16} = 8.17 \times 10^{-9} L^4 \quad (1)$$

$$\delta_{\text{max}} = \frac{L}{270} \quad (2) \quad \text{Igualando 1 con 2 obtenemos } L = 77 \text{ cm.}$$

Luego podemos colocar las viguetas a 77 cm. pero para tener un margen suficiente de resistencia para las operaciones de colocación y desmontaje de paneles los colocaremos a 60 cm.

Diseño de viguetas

Las viguetas se consideran simplemente apoyadas ya sea sobre las bridas o largueros, considerando una luz de 2.50 m. seleccionaremos la escuadría

$$\omega = 730 \text{ kg/m}^2 \times 0.60 \text{ m} = 438 \text{ kg/m}$$

Por flexión

$$bd^2 = \frac{6 \times L^2 \times \omega}{8 \times \sigma} = \frac{6 \times 250^2 \times 4.38}{8 \times 110} = 1866 \text{ cm}^3$$

Considerando $b = 10.16 \text{ cm}$ obtenemos $d = 14.64 \text{ cm}$, luego usamos madera basta 4" x 6" (10.16 cm. x 15.24 cm.)

Por corte

$$V_{\text{act}} = \frac{\omega \times L}{2} = \frac{438 \times 2.5}{2} = 548 \text{ kg.}$$

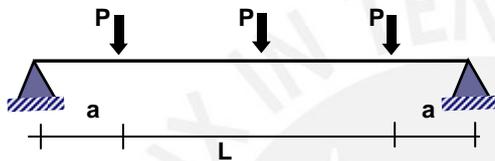
$$V_{\text{resist}} = \frac{\tau \times A}{1.5} = \frac{8.8 \times 10.16 \times 15.24}{1.5} = 908 \text{ kg.} \quad V_{\text{resist}} > V_{\text{act}}$$

Por flecha

$$\delta = \frac{5mL^4}{384EI} = \frac{5 \times 4.38 \times 250^4}{384 \times 90000 \times 2997} = 0.83 \text{ cm.}$$

$$\delta_{\max} = \frac{L}{270} = \frac{250}{270} = 0.93 \text{ cm.} \quad \delta_{\max} > \delta$$

Los largueros se encuentran bajo el efecto de cargas puntuales transmitidas por las viguetas. Consideramos tres viguetas entre los sustentadores de cerco separados 1.80 m.



$$a = 0.3 \text{ m.}$$

$$L = 1.80 \text{ m.}$$

$$P = 438 \text{ kg.}$$

Los largueros serán 2 piezas de 2" x 6" (2 x 5.08 cm. x 15.24 cm.)

Verificamos por flexión

$$M_{\text{act}} = P \frac{(L+a)}{4} = 438 \frac{(1.8 + 0.3)}{4} = 328.5 \text{ kg.m}$$

$$M_{\text{resist}} = \frac{\sigma b d^2}{6} = \frac{100 \times 10.16 \times 15.24^2}{6} = 393 \text{ kg.m} \quad M_{\text{resist}} > M_{\text{act}}$$

Verificamos por corte

$$V_{\text{act}} = \frac{3P}{2} = \frac{3 \times 438}{2} = 657 \text{ kg.}$$

$$V_{\text{resist}} = \frac{\tau \times A}{1.5} = \frac{8 \times 10.16 \times 15.24}{1.5} = 825 \text{ kg.} \quad V_{\text{resist}} > V_{\text{act}}$$

Verificamos por flecha

$$\delta = \frac{P(L^3 + 6aL^2 - 8a^3)}{48EI} = \frac{438 \times (180^3 + 6 \times 30 \times 180^2 - 8 \times 30^3)}{48 \times 55000 \times 3056} = 0.62 \text{ cm.}$$

$$\delta_{\max} = \frac{L}{270} = \frac{180}{270} = 0.67 \text{ cm.} \quad \delta_{\max} > \delta$$

Aplastamiento entre viguetas y largueros

$$\frac{P}{A} = \frac{438}{10.16 \times 5.08} = 8.84 \text{ kg/cm}^2 < 15 \text{ kg/cm}^2$$

Sustentadores de cerco

Cada sustentador soporta la carga de tres viguetas más el peso del encofrado
 $3 \times 438 \text{ kg} = 1314 \text{ kg}$ consideramos sustentadores que tenga una capacidad de carga de 1350 kg. en cada tirafondo.

Cálculo de plataforma de trabajo

La plataforma superior se calcula para su peso propio, el peso de los hombres e instalaciones que soporta y para la carga producida por la descarga de una cuba de concreto de 0.4 a 0.8 m³ repartida sobre un círculo de 1.5 m. a 2 m. de diámetro con una altura de caída de 0.3 m.

Para hallar el impacto producido por la descarga de concreto haremos uso de la siguiente expresión deducida con principios de energía y cinemática:

$$F = \frac{W \sqrt{2gh}}{gt}$$

F: Fuerza producida por la descarga del concreto

W: peso del concreto contenido en la tolva

H: altura de caída

g: aceleración de la gravedad

t: tiempo de vaciado a velocidad uniforme

Considerando un volumen de concreto 0.8 m³ cayendo desde 0.3 m. en un tiempo de 0.3 s obtenemos

$$F = \frac{1920 \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.3}}{9.81 \times 0.3} = 1582 \text{ kg.}$$

Considerando cae sobre un área de circunferencia de 2 m. de diámetro obtenemos 503 kg/ m². Dado que la sobrecarga no actuará al mismo tiempo que la fuerza debido al impacto producido por el vertido de concreto y debido a la corta duración de ésta consideraremos s/c = 500 kg/m² que es el mismo valor a considerar para el diseño que se recomienda en las especificaciones.

Para la plataforma de trabajo se usarán como soporte de los largueros las vigas W 30x90 indicados en el plano de la losa de cierre, las cuales se apoyarán sobre la cercha inferior del encofrado deslizante. El plano indica seis vigas W 30x90 sin embargo sólo se usarán las cuatro vigas laterales desplazadas hacia el centro de modo que tengan una longitud que permita apoyarlas sobre las cerchas. En las vigas centrales no es posible realizar esta maniobra ya que sus longitudes son mayores que el diámetro del silo.

Separación entre viguetas

En el cálculo de viguetas en la losa de cierre obtuvimos una separación de 60 cm. entre viguetas usando como entablados triplay de 19 mm y con una sobrecarga de 730 kg/m²., luego usaremos nuevamente una separación entre viguetas de 60 cm. al ser la sobrecarga menor.

Escuadría de largueros

Verificación por flexión

Se considera una luz de 2m.

$$\varpi = 500 \text{ kg/ m}^2 \times 0.60 \text{ m} = 300 \text{ kg/ m}$$

$$M_{\text{act}} = \frac{\varpi L^2}{10} = \frac{3 \times 200^2}{10} = 12\,000 \text{ kg.cm}$$

$$M_{\text{resist}} = \frac{\sigma b d^2}{6} = \frac{110 b d^2}{6}$$

Verificamos con una escuadría de 4" x 4" (10.16 cm x 10.16 cm) $M_{\text{resis}} = 19\,227 \text{ kg.cm}$

Luz máxima por corte

$$V_{\text{act}} = \frac{5 \omega L}{8} = \frac{5 \times 3 \times 200}{8} = 375 \text{ kg}$$

$$V_{\text{resist}} = \frac{\tau \times A}{1.5} = \frac{8.8 \times 10.16 \times 10.16}{1.5} = 454 \text{ kg.} \quad V_{\text{resist}} > V_{\text{act}}$$

Luz máxima por flecha

$$\delta = \frac{\omega L^4}{185 E I} = \frac{3 \times 200^4}{185 \times 90\,000 \times 888} = 0.32 \text{ cm}$$

$$\delta_{\text{max}} = \frac{L}{270} = 0.74 \text{ cm} \quad \delta_{\text{max}} > \delta$$

Si bien es suficiente usar viguetas de 4"x4", se usarán viguetas de 4"x6", esto se consigue colocando a tope dos paneles prefabricados.

Cálculo del encofrado deslizante

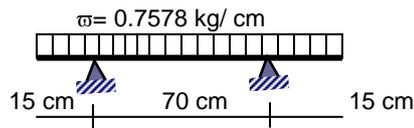
Se usarán entablados de 1" x 4" (2 cm x 9 cm) con una altura 1.05 m apoyados sobre cerchas formados por dos tablonos de 2" x 12". La presión máxima actuante la determinamos con la siguiente expresión del ACI:

$$P' = 0.488 + \frac{0.962 R'}{32 + 1.8T'} \text{ en tn/m}^2$$

R: Velocidad de deslizamiento, cm/ hr

T: temperatura del concreto °C

Considerando una velocidad máxima de 25 cm/ h y una temperatura del concreto de 20 °C obtenemos una presión máxima de $0.842 \text{ tn/m}^2 = 0.0842 \text{ kg/cm}^2$. El encofrado se modela como viga simplemente apoyada sobre las cerchas, las cuales se separan 70 cm de acuerdo a la separación entre ménsulas que traen las patentes de yugos.



Verificación por flexión

$$M_{act} = \frac{0.7578 \times 70^2}{8} - \frac{0.7578 \times 15^2}{2} = 378 \text{ kg.cm}$$

$$M_{resist} = \frac{\sigma b d^2}{6} = \frac{110 \times 9 \times 2^2}{6} = 660 \text{ kg.cm} \quad M_{resist} > M_{act}$$

Verificación por corte

$$V_{act} = -0.7578 \times 15 + \frac{0.7578 \times 105}{2} = 28.42 \text{ kg.}$$

$$V_{resist} = \frac{\tau \times A}{1.5} = \frac{8.8 \times 2 \times 9}{1.5} = 105.6 \text{ kg.} \quad V_{resist} > V_{act}$$

Verificación por flecha

$$\delta = \frac{wL^4}{185EI} - \frac{ML^2}{8EI} = \frac{0.7578 \times 70^4}{185 \times 90\,000 \times 6} - \frac{85.25 \times 70^2}{8 \times 90\,000 \times 6} = 0.09 \text{ cm}$$

$$\delta_{max} = \frac{L}{270} = 0.26 \text{ cm} \quad \delta_{max} > \delta$$

Separación entre yugos para cargas perpendiculares al entablado

Calculamos la máxima separación entre yugos considerando las cerchas se componen de dos tabloncillos de 2" x 12" y se encuentran bajo cargas perpendiculares.

Luz máxima por flexión

$$w = 0.0842 \text{ kg/cm}^2 \times 50 \text{ cm} = 4.21 \text{ kg/cm}$$

$$M_{act} = \frac{wL^2}{10} = \frac{4.21 \times L^2}{10} = 0.421L^2 \quad (1)$$

$$M_{\text{resist}} = \frac{\sigma b d^2}{6} = \frac{100 \times 8 \times 29^2}{6} \quad (2) \quad \text{Igualando 1 con 2 obtenemos } L = 516 \text{ cm.}$$

Luz máxima por corte

$$V_{\text{act}} = \frac{5 \omega L}{8} = \frac{5 \times 4.21 \times L}{8} = 2.63L \quad (1)$$

$$V_{\text{resist}} = \frac{\tau \times A}{1.5} = \frac{8 \times 8 \times 29}{1.5} = 1237 \quad (2) \quad \text{Igualando 1 con 2 } L = 470 \text{ cm.}$$

Verificación por flecha

$$\delta = \frac{\omega L^4}{185EI} = \frac{4.21 \times L^4}{185 \times 90\,000 \times 16259} \quad (1)$$

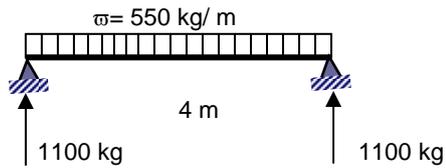
$$\delta_{\text{max}} = \frac{L}{270} \quad (2) \quad \text{Igualando 1 con 2 } L = 620 \text{ cm.}$$

Luego la separación máxima entre yugos para cargas perpendiculares a las cerchas es 470 cm. A continuación encontraremos la separación máxima entre yugos para cargas coplanares a las cerchas en la zona de apoyo de la viga W30 x90. Se considera las vigas W 18x35 se apoyan sobre las vigas W 30x90.

Metrado de cargas

Viga 18 x 35

Peso Propio	=	50 kg/m
Sobrecarga	=	$500 \text{ kg/ m}^2 \times 1 \text{ m} = \underline{500 \text{ kg/m}}$
Total		550 kg/m

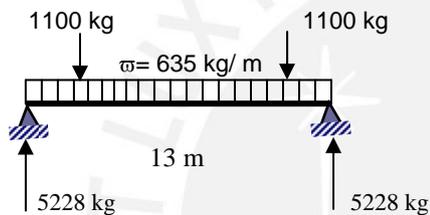


Viga 30 x 90

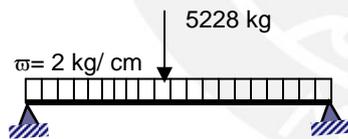
Peso Propio = 135 kg/m

Sobrecarga = $500 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m} = \underline{500 \text{ kg/m}}$

Total = 635 kg/m



Apoyo de la viga W30x 90 sobre la cercha



La carga que transmiten la vigas W 30x90 a la cercha inferior es de 5228 kg aproximadamente, la carga distribuida en la figura es la fricción del concreto con el entablado. Para su cálculo usaremos la fórmula de Dinescu:

$$F = \frac{2}{3} f h^2 \text{ en tn/m}$$

f : coeficiente de fricción, se acepta 0.6 para paneles de madera

h : altura de concreto m.

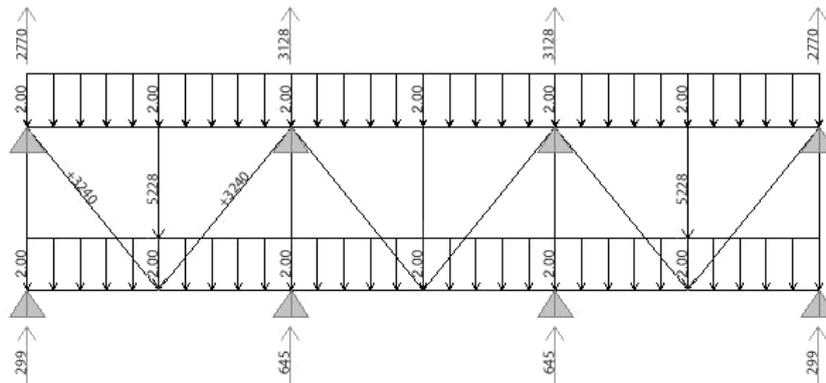
$$F = \frac{2}{3} \times 0.6 \times 1^2 = 0.4 \text{ tn/m luego en cada cercha actúa una fuerza de fricción de 0.2 tn/m}$$

Longitud máxima por corte

$$V_{act} = \frac{5\sigma L}{8} + P/2 = \frac{5 \times 2 \times L}{8} + 2614 = 1.25L + 2614 \quad (1)$$

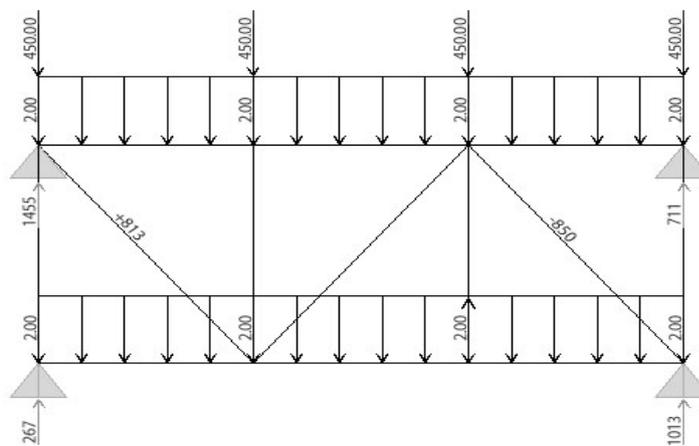
$$V_{resist} = \frac{\tau \times A}{1.5} = \frac{8 \times 8 \times 29}{1.5} = 1237 \quad (2)$$

Igualando 1 con 2 obtenemos $L < 0$, esto quiere decir que la madera no resiste por corte. A fin de solucionar este inconveniente se unirán las cerchas superior e inferior mediante montantes y diagonales formando una viga en celosía, la cual puede considerarse apoyada en los puntos en que el panel está sostenido por los yugos y sometida a las cargas debidas al peso propio del panel, a las vigas de la plataforma de trabajo, al rozamiento entre el encofrado y el concreto, etc.. La siguiente figura representa la viga en celosía, las vigas W30 x90 se apoyan sobre la cercha inferior y ambas cerchas están sometidas a la fricción debido al concreto. No se consideran las cargas transmitidas por las viguetas de la plataforma ya que éstas se apoyan sobre las vigas transversalmente; los apoyos representan las ménsulas de las piernas de los yugos.



En la figura las diagonales son los elementos más cargados y están sometidos a una tensión máxima de 3240 kg. con secciones de 3" x 3" da una tensión de 56 kg/cm² < 75 kg/cm² sin embargo podría darse el caso que algún gato se obstruya aumentando la distancia entre gatos luego se emplearán de 3"x4". De igual manera las fuerzas que soportan las ménsulas de la pierna interior del yugo más cargado suman 3.77 tn. mientras que en la montante exterior se estima que los andamios exteriores ejercen una carga de 0.5 tn., considerando una sobrecarga de 250 kg/m² sobre los entablados, luego cada yugo deberá soportar 4.27 tn; por lo tanto se

emplearán gatos de 6 tn. en los yugos que sostienen la viga directamente y estarán espaciados a 1.2 m, el resto también estará espaciado a 1.2 m pero de 3 tn de capacidad. En el caso de los yugos del fuste exterior se colocarán espaciadas a 1.8 m. En la siguiente figura las diagonales están cargadas tanto a tracción con una tensión máxima de 813 kg como a compresión con una carga de 850 kg. Dado que la diagonal a compresión se comporta como una columna corta en virtud que su esbeltez es menor a 10, será suficiente emplear una escuadría de 3"x3" pero por la misma razón que en la anterior se empleará de 3"x4". Las fuerzas sobre el yugo, incluyendo la que ejerce el andamio exterior suma 2.20 tn. luego se emplearán gatos de 3 tn de capacidad.



Luego para el encofrado del silo interior, considerando las distancias a las que se encuentran los yugos, se requerirán:

- 16 gatos de 6 tn de capacidad
- 22 gatos de 3 tn de capacidad

mientras que para el encofrado del silo exterior se requerirán

- 36 gatos de 3 tn de capacidad

5) Seguridad y prevención

La obra contará con un cerco de protección que limitará el área de trabajo, así como de una puerta controlada por un vigilante desde la cual se registrará el ingreso y salida de materiales y personas, quienes ingresarán tomando las precauciones necesarias y con equipo de protección personal. El lugar de trabajo contará con áreas debidamente señalizadas mediante carteles, vallas, balizas, cadenas, sirenas, etc. e incluyen:

- Área administrativa
- Área de servicios (SSH, comedor y vestuario)
- Área de operaciones de obra
- Área de preparación y habilitación de materiales
- Área de almacenamiento de materiales
- Área de parqueo de equipos
- Vías de circulación peatonal y de transporte de materiales
- Guardianía
- Área de acopio temporal de desmonte y de desperdicios

Asimismo se dispondrá de suministro de agua potable e instalaciones eléctricas provisionales las cuales deberán ser ejecutadas y mantenidas por personal calificado; la obra contará con “línea a tierra” en todos los circuitos eléctricos provisionales, los cuales descargarán en un pozo de tierra y se verificará el aislamiento de los conductores.

El acceso a las oficinas de obra será de la forma más directa posible desde la entrada y preferiblemente en una zona perimétrica, sin embargo si fuera necesario cruzar la zona de trabajo deberá hacerse por rutas debidamente señalizadas con un ancho mínimo de 60 cm. y cubierto para evitar accidentes por la caída de herramientas o materiales así como estar libre de todo elemento punzante.

Todo el personal que labore en la obra de construcción deberá usar el siguiente equipo de protección personal:

- Ropa de trabajo adecuada de acuerdo a la estación
- Casco de seguridad tipo jockey con colores específicos de acuerdo a la categoría y especialización del trabajador
- Zapatos de seguridad, botas impermeables de jebe para trabajos en zonas

- húmedas y zapatos dieléctricos para quienes trabajen con cables eléctricos.
- Tapones protectores de oído en caso el ruido alcance niveles mayores de 80 dB
 - Respiradores contra el polvo para zonas con gran cantidad de polvo
 - Para trabajos en altura, se dotará a los trabajadores de un cinturón de seguridad formado por el cinturón, un cabo de manila de diámetro mínimo $\frac{3}{4}$ " y con longitud suficiente que permita libertad de movimientos al trabajador. Estarán sujetos a una línea de vida consistente en un cable de cuero de $\frac{3}{8}$ ".
 - Guantes y lentes protectores.

Adicionalmente la obra deberá contar con un botiquín de primeros auxilios y se dispondrán las facilidades necesarias para garantizar la atención inmediata así como la evacuación a centros hospitalarios. El botiquín estará implementado con los siguientes medicamentos:

- 2 paquetes de guantes quirúrgicos
- 1 frasco de yodopovidona de 120 ml. Solución antiséptico
- 1 frasco de agua oxigenada mediano de 120 ml.
- 1 frasco de alcohol mediano 250 ml.
- 5 paquetes de gasas esterilizadas de 10 cm. x 10 cm.
- 8 paquetes de apósitos
- 1 rollo de esparadrapo de 5 cm. x 4.5 m.
- 2 rollos de vendas elásticas de 3 pulg. X 5 yardas
- 2 rollos de vendas elásticas de 4 pulg. X 5 yardas
- 1 paquete de algodón x 100 g.
- 1 venda triangular
- 10 paletas baja lengua (para entablillado de dedos)
- 1 frasco de solución de cloruro de sodio al 9/1000 x 1 lt (para lavado de heridas)
- 2 paquetes de gasa tipo jelonet (para quemaduras)
- 2 frascos de colirio de 10 ml.
- 1 tijera punta roma
- 1 pinza
- 1 camilla rígida
- 1 frazada

Antes de iniciar el trabajo de excavación se eliminarán todos los objetos que

puedan desplomarse como árboles, rocas, rellenos, etc.. y se aislará y protegerá mediante cerramientos con barandas ubicados a una distancia del borde que en ningún caso será menor de 1m.. Durante el movimiento de tierras, se tomarán las medidas para evitar la producción de polvo en la zona de trabajo mediante la aplicación de paliativos de polvo como son los aspersores de riego. En los trabajos de excavación deberá conservarse el talud adecuado a fin de garantizar la estabilidad de la excavación; ello se consigue con apuntalamientos apropiados o recurriendo a otros medios que eviten el riesgo de desmoronamiento. El equipo empleado en la labor de excavación será accionado exclusivamente por el operador asignado y en ningún caso deberá permanecer sobre la máquina personal ajeno. Cada equipo contará con el espacio suficiente para las operaciones de sus maniobras, los cuales no deberán traslaparse, y todos los equipos contarán con instrumentos de señalización y alarmas que permitan ubicarlos rápidamente durante sus operaciones.

Para los trabajos con equipos de izaje, las tareas de armado y desarmado de las estructuras de los equipos de izar así como su manejo serán realizadas por un técnico competente y por personal idóneo y con experiencia a quienes se les suministrará todo el equipo de protección personal requerido tales como cinturones de seguridad y puntos de enganche efectivos; los puntos de fijación y arriostamiento serán seleccionados de manera de asegurar la estabilidad del sistema de izar con un margen de seguridad. Tanto la operación de los equipos como el montaje será de acuerdo a lo establecido en el manual de operaciones correspondiente al equipo y en donde se consignará las recomendaciones de velocidad así como las cargas máximas y condiciones especiales de instalación como contrapesos y fijación. En cuanto a la operación con los equipos de izaje, el levantamiento de cargas se hará en forma vertical y no se levantarán cargas que se encuentren trabadas ni se provocarán sacudidas o aceleraciones bruscas durante la maniobra. Cuando después de izada la carga se observe que no está correctamente asegurada, el maquinista hará sonar la señal de alarma y descenderá la carga para su arreglo; se prohíbe la permanencia y el pasaje de trabajadores en la sombra de caída. De igual manera no se remolcará equipos con la pluma ni se dejarán los aparatos de izar con la carga suspendida y sólo se utilizarán para la elevación de la carga, recipientes adecuados para tal fin. Las operaciones de izar se suspenderán cuando se presenten vientos superiores a 80 km/h.

Los ganchos a emplear serán de material adecuado y tendrán un pestillo u otros dispositivos que eviten que la carga pueda soltarse. Los ganchos deberán elegirse en función de los esfuerzos a que estarán sometidos.

Para la confección de los encofrados se usarán materiales de acuerdo a la calidad exigida y planificada no permitiéndose improvisaciones; el trabajo con máquinas o aparatos portátiles no será confiado más que a trabajadores que conozcan su funcionamiento. Se deberá indicar la secuencia de llenado y la velocidad de las mismas para no someter los encofrados a esfuerzos para los cuales no han sido calculados, de igual manera deberá tenerse carpinteros encima y debajo del encofrado para corregir cualquier desperfecto que pudiera presentarse antes y durante la llena; los carpinteros dispondrán de materiales y herramientas en caso se requiera reforzar el encofrado. El desencofrado se hará paulatinamente para que el concreto tome las cargas gradualmente, en ese sentido se respetarán los tiempos mínimos requeridos dependiendo del elemento.

Para los trabajos con encofrados deslizantes, dada la gran altura a la que se trabaja, se someterá a los obreros a un examen médico a fin de constatar su capacidad de trabajo en altura y quienes resulten aptos recibirán una enseñanza básica de la seguridad e instrucción técnica sobre el método. En la confección de los encofrados deslizantes, se tendrán los mismos cuidados que en la confección de los encofrados convencionales más unos adicionales dado la particularidad del método, empezando por cercar la obra en una distancia no menor de 1/10 de su altura con un cerco de al menos 2.50 m de alto quedando prohibida la circulación de los obreros en esta zona. El acceso de los obreros a la plataforma de trabajo se hará de uno en uno y durante la elevación del encofrado deslizante, no se correrá sobre la plataforma ni tampoco se saltará de la plataforma superior a la inferior, el acceso será por la escalera de acceso la cual estará provista de trampilla. De igual forma tanto la plataforma como los andamios, estarán provistos de barandas quedando prohibidos los obreros de apoyarse sobre ellas así como de tirar materiales encima de las barandillas del encofrado deslizante. Antes de cada relevo, se comprobará la integridad de la plataforma así como el estado de los elementos de protección de los cables de alimentación, de los dispositivos de suspensión de cargas, de los cubos de concreto y jaulas de armadura, de las instalaciones eléctricas así como de la iluminación general de la obra. En ese sentido, dado el alto riesgo de incendio que existe, el cual es potenciado por la presencia de materiales combustibles como la madera, se tomarán medidas de prevención contra los siniestros. En primer lugar los transformadores y cuadros de distribución estarán en lugares visibles fáciles de vigilar sobre la plataforma superior mientras que la iluminación se instalará a 24 V. Para el combate contra incendios, se dispondrá sobre la plataforma de extinguidores cargados cuyo acceso será directo y libre de obstáculos. Asimismo se comprobará su operación antes de comenzar el deslizamiento y se garantizará que los obreros conozcan su

funcionamiento. Para la operación de desmontaje, éste deberá hacerse de día e interrumpirse cuando las condiciones meteorológicas sean desfavorables. Una operación que exige una atención particular es el desmontaje de los tornillos que fijan las montantes exteriores a las traviesas de los yugos, por lo que esta operación se hará sólo después de que el panel haya sido enganchado al cable de la grúa,. Los obreros que hagan esta operación deberán estar sobre la plataforma superior quedando prohibido a partir de ese momento el acceso a las plataformas inferiores.



Bibliografía

1. GALLEGOS, J, *Los Encofrados Deslizantes*, 3era Edición, Lima: Ateneo, 1992
2. DINESCU, T; SANDRU, A; RADELESCU, C, *Los Encofrados Deslizantes*, Traducción de L. Casas, 2da edición, Madrid: Espasa Calpe, 1970
3. HURD M. K., *ACI Special Publication N° 4 Formwork for concrete*, 4th edition, Detroit: American Concrete Institute, 1979
4. Peurifoy R.L, *Encofrados para Estructuras de Hormigón*, New Cork: McGraw-Hill, 1967
5. JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA PADT-REFORT (Ed.) (1990.). *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino*, Lima: Junac Padt-Refort
6. PASQUEL E., *Tópicos de Tecnología del Concreto*, 2da Edición, Cochabamba: Serrano, 1996
7. MC CORMACK J., *Diseño de Estructuras de Acero Método LRFD*, México: Alfaomega, 1996
8. BRAGAGNINI I. et al., *Supervisión de Obras de Concreto*, Lima: American Concrete Institute UNI, 1999
9. BAUD G., *Tecnología de la Construcción*, Barcelona: Blume, 1970
10. *Guide to Formwork for Concrete*, Chicago: American Concrete Institute, 2005
11. Reglamento Nacional de Edificaciones
12. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (Ed.) (2006.). *ACI Manual of Concrete Practice*, Farmington Hills, Mi: ACI, 2006
13. CASTILLO R., *Manual Básico del Ingeniero Residente*, Lima: Capeco, 1990
14. AISC (Ed.). (1995.). *Manual of Steel Construction: Load & Resistance Factor* (2nd ed., Vol 1). Chicago: AISC
15. PERU, MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN, SANEAMIENTO. (2006), *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Autores